

อิทธิพลของวัสดุโปร่งแสงที่มีผลต่อประสิทธิภาพเพื่อการลดอุณหภูมิใน
โรงเรือนเพาะปลูกและความคุ้มค่าในระยะยาว

THE INFLUENCE OF TRANSLUCENT MATERIALS ON THE
EFFICIENCY OF TEMPERATURE REDUCTION IN GREENHOUSES
AND THEIR LONG-TERM COST EFFECTIVENESS



**BANGKOK
UNIVERSITY**
THE CREATIVE UNIVERSITY

อิทธิพลของวัสดุโปร่งแสงที่มีผลต่อประสิทธิภาพเพื่อการลดอุณหภูมิในโรงเรือน
เพาะปลูกและความคุ้มค่าในระยะยาว

THE INFLUENCE OF TRANSLUCENT MATERIALS ON THE EFFICIENCY OF
TEMPERATURE REDUCTION IN GREENHOUSES AND THEIR LONG-TERM COST
EFFECTIVENESS



**BANGKOK
UNIVERSITY**

ณรงค์เดช แยมบุญมี
THE CREATIVE UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมภายใน-การบริหารจัดการออกแบบภายใน
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ปีการศึกษา 2566

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
อนุมัติให้วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เรื่อง อธิพจน์ของวัสดุโปร่งแสงที่มีผลต่อประสิทธิภาพเพื่อการลดอุณหภูมิในโรงเรือนเพาะปลูก
และความคุ้มทุนระยะยาว

ผู้วิจัย ณรงค์เดช แยมบุญมี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย



ประธานกรรมการสอบ
(ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก)

รศ.ดร.ชุมพร มูรพันธ์

กรรมการสอบ
(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก)

BANGKOK
UNIVERSITY
THE CREATIVE UNIVERSITY

ดร.ภฤศมน คำมะสอน

กรรมการสอบ
(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม)

รศ.माणพ ศิริวิญญูกิจ

กรรมการสอบ
(อาจารย์ประจำหลักสูตร)

ผศ.ดร.ศิริวรรณ รุจิพงษ์

ณรงค์เดช แยมบุญมี. ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สถาปัตยกรรมภายใน-การบริหารจัดการออกแบบภายใน), กรกฎาคม 2567, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

อิทธิพลของวัสดุโปร่งแสงที่มีผลต่อประสิทธิภาพเพื่อการลดอุณหภูมิในโรงเรือนเพาะปลูกและความคุ้มทุนระยะยาว (61 หน้า)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ดร.ภฤศมน คำมะสอน

บทคัดย่อ

การเพาะปลูกพืชในโรงเรือนนั้นได้เข้ามาเป็นทางเลือกให้แก่เกษตรกรไทยให้ได้มีแนวทางในการเลือกวิธีสร้างผลผลิตทางการเกษตร การเพาะปลูกในโรงเรือนเป็นทางเลือกที่น่าสนใจวิธีหนึ่ง เพราะมีประโยชน์ในเรื่องการดูแลควบคุมได้ง่ายกว่า ใช้ปริมาณพื้นที่น้อยกว่า และยังสามารถใช้ในการเพาะปลูกพืชต่างถิ่นได้ แต่ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทยมีลักษณะร้อนชื้น การเพาะปลูกพืชต่างถิ่นที่ต้องการภูมิอากาศเย็นจึงต้องควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้มีคุณภาพ และมีลักษณะอากาศที่เหมาะสม เช่น การใช้เครื่องปรับอากาศ การพ่นน้ำ ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเป็นการเพิ่มภาระให้แก่เกษตรกรผู้ผลิต วัสดุโปร่งแสงมุงหลังคาโรงเรือนที่หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดเพื่อนำมาใช้ให้เหมาะกับลักษณะภูมิอากาศร้อนชื้นของภาคกลางในประเทศไทย โดยที่วัสดุที่กล่าวนั้นคือ กระดาษ โพลีคาร์บอเนตและพลาสติกโพลีเอทิลีน มาทำการทดลองวัดค่าอุณหภูมิเพื่อสรุปผลประสิทธิภาพของการควบคุมอุณหภูมิ จากการทดลองโดยการสร้างโรงเรือนจำลองขึ้นมา 3 หลัง โดยใช้วัสดุโครงสร้างและรูปทรงเดียวกันและใช้วัสดุกรุผนังด้วยแผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีน ส่วนหลังคาใช้วัสดุโปร่งแสง 3 ชนิด ได้แก่ กระดาษ โพลีคาร์บอเนตและพลาสติกโพลีเอทิลีน มาทำการทดลองวัดค่าอุณหภูมิในช่วงเวลาและสภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยมีการทดลองระยะเวลา 3 วัน ในวันที่ 7 - 9 เมษายน พ.ศ. 2567 ผลที่ได้คือโรงเรือนที่มุงวัสดุหลังคาด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีนนั้นมีประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิได้ดีที่สุด โรงเรือนที่มุงหลังคาด้วยกระดาษใสมีประสิทธิภาพเป็นอันดับสอง และโรงเรือนที่มุงด้วยโพลีคาร์บอเนตมีประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิได้น้อยที่สุดในวัสดุโปร่งแสง 3 ประเภทที่นำมาทดลอง

คำสำคัญ : โรงเรือน, วัสดุโปร่งแสง, การลดอุณหภูมิ, การทดลอง, สภาพอากาศ

Narongdet, Y. Master of Master of Architecture (Innovative Design Management),
July 2024, Graduate School, Bangkok University.

The influence of translucent materials on the efficiency of temperature reduction in
greenhouses and their long-term cost-effectiveness (61 pp.)

Thesis Advisor: Asst. Prof. Prudsamon Kammasorn, Ph.D.

Abstract

Cultivation of plants in greenhouses has become an option for Thai farmers, providing them with a method to produce agricultural products. Greenhouse cultivation is an attractive option due to its benefits, such as easier control, requiring less space, and enabling the cultivation of non-native plants. However, because Thailand has a hot and humid climate, cultivating non-native plants that require cooler climates necessitates controlling the temperature inside the greenhouse to ensure quality and appropriate atmospheric conditions. This often involves the use of air conditioners and misting systems, which can increase electricity consumption and add financial burdens to farmers. Translucent roofing materials available in the market can be utilized to suit the hot and humid climate of central Thailand. The materials examined in this study include glass, polycarbonate, and polyethylene plastic. An experiment was conducted to measure the temperature control efficiency of these materials. Three model greenhouses were constructed using identical structural materials and shapes, with walls made of ethylene plastic sheets. The roofs were made of three different translucent materials: glass, polycarbonate, and polyethylene plastic. The temperature was measured under the same time and environmental conditions over a three-day period from April 7 to April 9, 2024. The results indicated that the greenhouse with a polyethylene plastic roof exhibited the best temperature control efficiency. The greenhouse with a glass roof ranked second in efficiency, while the greenhouse with a polycarbonate roof had the least temperature control efficiency among the three translucent materials tested.

*Keywords: Greenhouse, Translucent Material, Temperature Reduction, Experiment,
Climate*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ดร.ภฤศมน คำมะสอน อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ คุณธีรภัทร์ ศรีเพ็ชร เจ้าของสถานที่บ้านไทยฟาร์มที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านสถานที่ทำการทดลองและข้อมูลต่าง ๆ ที่เอื้อต่อการวิจัยจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและขอแสดงความกตัญญูตเวทิตาคุณ แต่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

BANGKOK
UNIVERSITY
THE CREATIVE UNIVERSITY

ณรงค์เดช แยมบุญมี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญในการศึกษา	1
1.2 ขอบเขตและข้อจำกัดในงานวิจัย	2
1.3 คำถามงานวิจัย	2
1.4 วัตถุประสงค์ในการศึกษา	3
1.5 วิธีดำเนินการศึกษา	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	
2.1 โรงเรือน (Greenhouse)	4
2.2 วัสดุโปร่งแสงหลังคาโรงเรือน (Roof Material)	6
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในโรงเรือน	11
2.4 สมดุลความร้อนในโรงเรือน (Energy Balance)	15
2.5 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)	16
2.6 สภาพอากาศประเทศไทย	18
2.7 หลักการและทฤษฎีของรังสีดวงอาทิตย์ (Theory of Solar Radiation)	26
2.8 กรณีศึกษา (Case Study)	30
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	
3.1 ขั้นตอนการทำงานวิจัย	38
3.2 พื้นที่การศึกษาและชนิดของวัสดุ	39
3.3 ขั้นตอนกำหนดรูปแบบการทดลอง	42
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 อภิปรายผลการวิจัย	
4.1 ผลการศึกษาและอภิปรายผล	46
4.2 การประมวลผลค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายนอกและภายในโรงเรือนจำลอง ทั้ง 3 ประเภท	48
4.3 ความคุ้มทุนของวัสดุโปร่งแสงประเภทต่าง ๆ	52
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	54
5.2 งานวิจัยในอดีต	54
5.3 สรุปผลการวิจัยและอภิปราย	55
5.4 ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย	56
บรรณานุกรม	57
ประวัติผู้เขียน	61

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1: สถิติอุณหภูมิของประเทศไทยในฤดูต่าง ๆ	20
ตารางที่ 3.1: ตัวแปรควบคุมในการทดลอง	44
ตารางที่ 3.2: การแบ่งจำแนกสถานการณ์และชนิดของวัสดุในการทดสอบ	45
ตารางที่ 4.1: อุณหภูมิภายนอกและภายในโรงเรือนจำลองทั้ง 3 ที่เวลา 13.15 นาฬิกา ตั้งแต่วันที่ 7 – 9 เมษายน พ.ศ. 2567 หน่วยเป็นองศาเซลเซียส	51
ตารางที่ 4.2: เปรียบเทียบความคุ้มทุนของวัสดุโปร่งแสงชนิดต่าง ๆ ที่นำมาสร้างเป็นโรงเรือนจำลอง	53
ตารางที่ 4.3: เปรียบเทียบความคุ้มทุนของวัสดุโปร่งแสงชนิดต่าง ๆ ที่นำมาสร้างเป็นโรงเรือน	53

สารบัญภาพ

	หน้า	
ภาพที่ 2.1:	วัสดุหลังคาโรงเรือนแบบต่าง ๆ	7
ภาพที่ 2.2:	แสดงคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก	8
ภาพที่ 2.3:	แสดงรูปโรงเรือนใช้วัสดุกระจก	9
ภาพที่ 2.4:	แสดงรูปโรงเรือนใช้วัสดุพลาสติกโพลีเอทิลีน	10
ภาพที่ 2.5:	แสดงรูปโรงเรือนใช้วัสดุแผ่นโพลีคาร์บอเนต	11
ภาพที่ 2.6:	เครื่องทำความร้อนแบบยูนิตที่ใช้สำหรับทำความร้อนในโรงเรือน	15
ภาพที่ 2.7:	แสดงการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ	17
ภาพที่ 2.8:	แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก	18
ภาพที่ 2.9:	แสดงแผนที่อุณหภูมิสูงสุด เฉลี่ยเดือน เมษายน พ.ศ. 2562	19
ภาพที่ 2.10:	ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายทศวรรษของประเทศไทย ตั้งแต่พ.ศ. 2494 - 2551	22
ภาพที่ 2.11:	ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายทศวรรษของประเทศไทย ตั้งแต่พ.ศ. 2494 - 2551	23
ภาพที่ 2.12:	ผลการคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในอดีตและอนาคต ตั้งแต่ พ.ศ. 2504 - 2633	24
ภาพที่ 2.13:	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มรังสีรวมของประเทศไทยกับของประเทศอื่น	27
ภาพที่ 2.14:	แสดงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย	28
ภาพที่ 2.15:	แสดงแผนที่แสดงความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนต่าง ๆ	29
ภาพที่ 2.16:	ตำแหน่งของโลกที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว	30
ภาพที่ 2.17:	ตารางเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ของวัสดุหลังคาโรงเรือน	31
ภาพที่ 2.18:	ความสามารถในการส่งผ่านแสงของฟิล์มที่ลดอัตราส่วน R/FR ของโฟตอน อัตราการไหลเวียนของสีแดง (R, 650 - 670 nm) ถึงสีแดงไกล (FR, 720 - 740 nm) ในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร	32
ภาพที่ 2.19:	โรงเรือนประเภทต่าง ๆ	33
ภาพที่ 2.20:	การเติบโตของอุตสาหกรรมโรงเรือนในภูมิภาคอัลเมเรียของสเปนในช่วง 30 ปี ระหว่างปี ค.ศ. 1974 ถึง 2004 สีขาวหมายถึงหลังคาโรงเรือน	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า	
ภาพที่ 3.1:	กรอบแนวความคิดงานวิจัย	37
ภาพที่ 3.2:	แสดงแปลน รูปด้านและรูปตัดห้องจำลอง	39
ภาพที่ 3.3:	แสดงลักษณะห้องทดลอง	40
ภาพที่ 3.4:	พื้นที่การศึกษาร้านไทยฟาร์ม	41
ภาพที่ 3.5:	แผนผังพื้นที่การศึกษาร้านไทยฟาร์ม	41
ภาพที่ 3.6:	พื้นที่การศึกษาส่วนบริเวณที่โล่งของบ้านไทยฟาร์ม	42
ภาพที่ 3.7:	ตำแหน่งที่ตั้งโรงเรือนทั้ง 3 บริเวณที่โล่งของบ้านไทยฟาร์ม	43
ภาพที่ 3.8:	เครื่องมือวัดอุณหภูมิ Netatmo Urban Weather Station สามารถวัดค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น สำหรับการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช	44
ภาพที่ 3.9:	โรงเรือนจำลองทั้ง 3 หลังที่คลุมด้วยวัสดุต่างชนิดกันบริเวณที่โล่งของบ้านไทยฟาร์ม	45
ภาพที่ 4.1:	กราฟแสดงอุณหภูมิแบบจำลองโรงเรือนที่ใช้วัสดุกระจก (Glass) เป็นวัสดุคลุมหลังคา	47
ภาพที่ 4.2:	กราฟแสดงอุณหภูมิแบบจำลองโรงเรือนที่ใช้วัสดุโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) เป็นวัสดุคลุมหลังคา	47
ภาพที่ 4.3:	กราฟแสดงอุณหภูมิแบบจำลองโรงเรือนที่ใช้วัสดุพลาสติกโพลีเอทิลีน (Polyethylene) เป็นวัสดุคลุมหลังคา	48
ภาพที่ 4.4:	กราฟแสดงอุณหภูมิภายนอกและภายในแบบจำลองโรงเรือนทั้ง 3 ชนิด เวลา 13.00 นาฬิกา	49
ภาพที่ 4.5:	กราฟแสดงอุณหภูมิภายนอกในวันที่ 7 – 9 เมษายน พ.ศ. 2567	49
ภาพที่ 4.6:	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือนจำลองที่มุงหลังคาด้วยกระจก ในวันที่ 7 – 9 เมษายน พ.ศ. 2567	50
ภาพที่ 4.7:	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือนจำลองที่มุงหลังคาด้วยโพลีคาร์บอเนต ในวันที่ 7 – 9 เมษายน พ.ศ. 2567	50
ภาพที่ 4.8:	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือนจำลองที่มุงหลังคาด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีน ในวันที่ 7 – 9 เมษายน พ.ศ. 2567	51
ภาพที่ 4.9:	กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอกและภายในห้องทดลองทั้ง 4 สถานการณ์ ของวันที่ 7 – 9 เมษายน พ.ศ. 2567	52

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากข้อมูลที่มีการบันทึกที่เก่าแก่ ของการปลูกพืชในโรงเรือนเพื่อที่จะปกป้องพืชที่ปลูกจากสภาพอากาศที่ไม่เหมาะสมนั้น คือตั้งแต่คริสต์ศักราช 14 ถึง 37 ในกรุงโรม โรงเรือนที่สร้างในสมัยนั้นเป็นโครงสร้างแบบง่าย ๆ มีขนาดไม่ใหญ่ ตั้งอยู่บนรถเข็นที่ สามารถเคลื่อนย้ายต้นแตงกวาที่ปลูกเข้าไปเก็บในเวลากลางคืน เพื่อให้พ้นจากอากาศหนาวเย็น และนำออกมา ในเวลากลางวันเพื่อรับแสงแดด ส่วนโรงเรือนยุคใหม่ที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกับโรงเรือนที่เห็นในปัจจุบัน เริ่มต้นที่ช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 16 ในยุคที่โลกมีการติดต่อค้าขายกันทางเดินเรือข้ามทะเล ระหว่างโลกตะวันตกกับโลกตะวันออก มีการนำพันธุ์พืชจากซีกโลกเขตร้อนซึ่งเป็นพืชเขตร้อน ไปปลูกในเขตกึ่งหนาวและเขตนาน จึงต้องหาวิธีการปกป้องพืชเหล่านั้นให้ดำรงอยู่ได้ จากข้อมูลระบุว่าโรงเรือนที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงในปัจจุบันเกิดขึ้นครั้งแรกในประเทศอิตาลี สร้างขึ้นเพื่อใช้ ปลูกและดูแลรักษาพืชต่างถิ่น ต่อมาวิธีนี้ได้แพร่หลายไปยังประเทศอื่น ๆ ในยุโรป เช่น เนเธอร์แลนด์และอังกฤษ โรงเรือน (Greenhouse or Glasshouse) หมายถึง สิ่งก่อสร้างที่มุงด้วยวัสดุโปร่งแสงที่ให้แสงซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชผ่านเข้ามาภายในได้ และสิ่งก่อสร้างนี้ควรมีความสูงเพียงพอที่มนุษย์จะเข้าไปทำงานได้ โดยสะดวก ซึ่งในภาษาอังกฤษมีคำที่นิยมใช้เรียกโรงเรือน 2 คำ คือ Greenhouse (กรีนเฮาส์) และ Glasshouse (กลาสเฮาส์) คำว่า Greenhouse เป็นคำที่ใช้เรียกโรงเรือนโดยทั่วไป คำนี้มีที่มาจากการที่โรงเรือนมุงด้วยวัสดุโปร่งแสง เมื่อมองจากภายนอกจึงมองเห็นพืชที่ปลูกอยู่ภายใน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสีเขียว ส่วนคำว่า Glasshouse ซึ่งแปล เป็นภาษาไทยว่าโรงเรือนกระจกนั้น ใช้เรียกโรงเรือนที่ใช้กระจกเป็นวัสดุมุงโรงเรือน โรงเรือนกระจกเป็นโรงเรือน ปลูกพืชที่สร้างขึ้นในยุคแรก ๆ แต่ต่อมาเมื่อมีการประดิษฐ์วัสดุโปร่งแสงชนิดอื่น ๆ ได้ เช่น พลาสติก โพลีคาร์บอเนต และไฟเบอร์กลาสขึ้น เป็นต้น

จุดเริ่มต้นของการปลูกพืชผักในโรงเรือนมาจากประเทศในเขตอบอุ่นและเขตนานที่มีอากาศเย็นจัดในฤดูหนาวจนพืชหลายชนิดโดยเฉพาะผักและดอกไม้หลายชนิดไม่สามารถดำรงอยู่ได้ มนุษย์จึงคิดหาทางที่จะปกป้องพืชเหล่านั้นโดยการสร้างโครงสร้างที่เรียกว่าโรงเรือนขึ้นมาและทำการปลูกพืชไว้ในนั้น เพื่อปกป้องพืชจากสภาพที่ไม่เหมาะสม แม้ว่าวัตถุประสงค์การสร้างโรงเรือนในยุคแรก จะทำเพื่อปกป้องพืชจากสภาพแวดล้อมภายนอกที่ไม่เหมาะสม ต่อมาเมื่อมีการค้นคว้าและวิจัยมากขึ้น จึงทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากโรงเรือนได้อีกหลายอย่าง เช่น ประโยชน์ของสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมกับพืช อย่างสภาพอากาศ โรคและแมลงศัตรูพืช, ประโยชน์ด้านการควบคุมและตัดแปลงให้มีสภาพที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช เช่น ควบคุมแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นและธาตุอาหาร อีกทั้งยังมีประโยชน์ในด้านขยายช่วงเวลาของการปลูกพืชในรอบปีนานมากขึ้นกว่าเดิมหรือที่เรียกว่าปลูกพืชนอกฤดูปลูก

ในปัจจุบันเกษตรกรที่มีความสนใจและมีความคิดก้าวหน้าได้มีความสนใจที่จะประกอบอาชีพเกษตรกรโดยวิธีปลูกพืชในโรงเรือนเพื่อเป็นทางเลือกและทดลองวิธีการใหม่ ๆ ในการทำเกษตร โดยได้ทำการปลูกทั้งพืชท้องถิ่นและปลูกพืชระบบไฮโดรโปนิคส์ในบริเวณสถานที่บ้านไทยฟาร์ม ตั้งอยู่ที่อำเภอบ้านแพ้ว จ. สมุทรสาคร และถึงแม้ว่าการปลูกพืชในโรงเรือนนั้นจะมีข้อดีเรื่องการใช้ขนาดที่ดินไม่มาก แต่ทว่าการก่อสร้างโรงเรือนและระบบรักษาคุณภาพของอุณหภูมิและค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานนั้น ยังมีความไม่คุ้มทุนเมื่อเทียบกับผลผลิต

1.2 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งศึกษาและวิเคราะห์การลดอุณหภูมิของความร้อนของแสงแดดที่ผ่านเข้ามาใน โรงเรือนโดยนวัตวัสดุโปร่งแสง 3 ชนิด มาศึกษาเปรียบเทียบ โดย อาศัยเครื่องมือวัดค่าทางวิทยาศาสตร์เป็นตัวบ่งชี้อิทธิพลของวัสดุโปร่งแสงที่มีผลต่อประสิทธิภาพเพื่อการลดอุณหภูมิในโรงเรือนเพาะปลูก

โรงเรือนปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ ชนิดพืช กรีนโอ๊ค ที่ใช้ในการทดลองเพราะเป็นพืชที่มีความนิยมปลูกและเป็นที่ต้องการของตลาด โดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตอยู่ที่ 15 – 40 องศาเซลเซียส แต่จะมีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจะมีผลโดยตรงกับการดูดน้ำและธาตุอาหาร การสังเคราะห์แสง การคายน้ำ และกิจกรรมของเอ็นไซม์ต่าง ๆ ดังนั้น อัตราการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิโดยตรง การใช้วัสดุโปร่งแสงในการมุงหลังคาโรงเรือน เพื่อนำแสงแดดตามธรรมชาติเป็นแหล่งพลังงานสำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสง แสงยังเป็นตัวกระตุ้นและควบคุมกระบวนการพื้นฐานของการเจริญเติบโต เช่น การงอก การเติบโตของลำต้น การออกดอกและพักตัว หากไม่มีแสงแดดจะเกิดปัญหาที่ตามมาคือโรคน้ำ โดยวัสดุโปร่งแสงที่นิยมและหาซื้อได้ง่ายในทั่วไปนั้น สามารถใช้เพื่อรับแสงและนำมาใช้ทำโรงเรือน โดยมีคุณสมบัติและราคาที่แตกต่างกัน

1.3 คำถามงานวิจัย

1.3.1 วัสดุโปร่งแสงชนิดใดมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพเพื่อการลดอุณหภูมิในโรงเรือนเพาะปลูก

1.3.2 การเลือกใช้วัสดุโปร่งแสงที่เหมาะสมจะสามารถช่วยให้มีความคุ้มทุนในโรงเรือนได้หรือไม่

1.4 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

- 1.4.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบวัสดุโปร่งแสงชนิดต่าง ๆ
- 1.4.2 เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพและความแตกต่างของวัสดุโปร่งแสงประเภทต่าง ๆ
- 1.4.3 เพื่อเป็นแนวทางการเลือกวัสดุหลังคาโรงเรือนปลูกผักสำหรับเกษตรกร

1.5 วิธีการดำเนินการศึกษา

การดำเนินการศึกษานี้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลโดยใช้เอกสารเพื่อการค้นคว้า ได้แก่ บทความ หนังสือ งานวิจัย วิทยานิพนธ์ มาตรฐานของวัสดุโปร่งแสงของโรงเรือนเพาะปลูกทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง บทสัมภาษณ์ของเกษตรกร ตลอดจนเว็บไซต์ต่าง ๆ และการวิจัยเชิงทดลอง ได้แก่ การนำวัสดุโปร่งแสง 3 ชนิด มาสร้างเป็นโรงเรือนจำลองเพื่อเก็บวัดอุณหภูมิและเก็บสถิติผลข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อศึกษาความแตกต่างของค่าความร้อน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 เพื่อเป็นทางเลือกวัสดุโปร่งแสงที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิและเหมาะสมกับสภาพอากาศ
- 1.6.2 เพื่อความคุ้มค่าต่อการลงทุนก่อสร้างโรงเรือนเพาะปลูก
- 1.6.3 เพื่อเป็นทางเลือกในการใช้วัสดุโปร่งแสงในการทำโรงเรือน

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม

2.1 โรงเรือน (Greenhouse)

โรงเรือนคือการก่อสร้างที่ใช้การแผ่รังสีแสงอาทิตย์เพื่อสร้างสภาพอากาศที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของพืช มักถูกสร้างขึ้นจากตัวกลางโปร่งใสที่มีผลต่อการแผ่รังสีความยาวคลื่นสั้นที่ตกกระทบ ระบบโรงเรือนจะต้องปกป้องพืชจากสภาพแวดล้อมภายนอกเพื่อช่วยให้พืชเจริญเติบโตและเพิ่มคุณภาพการผลิต ส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโรงเรือน ได้แก่ วัสดุหุ้ม รูปทรง และการวางแผน พร้อมด้วยอุปกรณ์ทางเทคนิคที่จำเป็นในการควบคุมสภาพอากาศขนาดเล็กภายในโรงเรือน การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสภาพอากาศภายในโรงเรือนและลักษณะของมัน เป็นสิ่งสำคัญในการรักษาสภาพการทำงานที่เหมาะสมในช่วงเวลาต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตของพืช ในการสร้างแบบจำลองทางกายภาพที่ใช้งานได้สิ่งสำคัญคือต้องมีการประมาณค่ารังสีดวงอาทิตย์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนอย่างแม่นยำเนื่องจากพารามิเตอร์เหล่านี้ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อพลังงานโรงเรือนและความสมดุลของมวล

ระบบโรงเรือนมีการใช้งานหลายอย่างเช่น การปลูกพืช การอบแห้งพืช การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การอบดินด้วยแสงอาทิตย์และการเลี้ยงสัตว์ปีก มีประมาณ 115 ประเทศที่ใช้โรงเรือนเกษตรเพื่อการผลิตผักเชิงพาณิชย์ ในอดีตกระบวนการอบแห้งถูกใช้อย่างกว้างขวางโดยหลายประเทศและมีอารยธรรมเพื่อถนอมอาหารให้นานที่สุด โดยวิธีการที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางนี้คือการให้ความร้อนตามธรรมชาติแก่ผลผลิตเพื่อขจัดความชื้น ซึ่งเทคนิคนี้มีข้อดีมากมายเช่นการออกแบบที่เรียบง่ายด้วยต้นทุนต่ำเทคโนโลยีการอบแห้งโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นวิธีแก้ปัญหาที่ช่วยให้การผลิตผักและผลไม้ที่อยู่ในสภาพที่ถูกสุขลักษณะและมีสุขภาพดีโดยมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเกือบเป็นศูนย์ นอกจากนี้เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ยังใช้สำหรับผลิตภัณฑ์การเกษตรแห้ง ผลิตภัณฑ์ทางทะเลและพืชสมุนไพร เทคนิคการตากแดดแบบเปิดไม่เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพระดับสากล การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ออกแบบมาเพื่อพัฒนาคุณภาพของพืชผลแห้ง ที่ได้รับความนิยมมีอยู่ 2 แบบคือการใช้กระบวนการทางธรรมชาติและบังคับทำให้แห้ง แนวคิดหลักที่อยู่วิธีการเก็บรักษาพืชด้วยวิธีการธรรมชาติคือการให้ความร้อนผ่านพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งนำไปสู่ปรากฏการณ์การถ่ายโอนมวลความร้อน การจำลองความร้อนมีบทบาทสำคัญในการออกแบบที่สมบูรณ์แบบและปรับปรุงโรงเรือน (Nouredine, Amine, Anas, Tarik, Said & Abdelmajid, 2019)

2.1.1 ชนิดพลาสติกที่ใช้ทำโรงเรือน (Coverage type)

การเลือกวัสดุคลุมโรงเรือนเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะทำให้ประสบความสำเร็จในการสร้างผลผลิต และในบรรดาคุณสมบัติของวัสดุ (แสง เคมี กายภาพ ฯลฯ) สิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับวัสดุที่ใช้

คลุมโรงเรือนคือคุณสมบัติทางแสง เนื่องจากเป็นตัวกำหนดปริมาณและคุณภาพของรังสีแสงอาทิตย์ที่เข้าสู่โรงเรือน และปริมาณของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthetically Active Radiation, PAR) อย่างไรก็ตาม ไม่มีวัสดุใดที่ถือว่าเหมาะสมที่สุดในแง่ของคุณสมบัติทางแสง ดังนั้นผู้ปลูกจึงต้องเลือกวัสดุคลุมที่เหมาะสม โดยมีคุณสมบัติทางแสงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสภาพการเจริญเติบโตเฉพาะ วัสดุคลุมที่สำคัญที่สุดที่ใช้ในพืชสวนในแง่ของพื้นผิวคลุมในโลกคือฟิล์มพลาสติกที่มีความยืดหยุ่น แก้ว และตะแกรงประเภทต่างๆ อุตสาหกรรมกำลังผสมผสานคุณสมบัติทางแสงใหม่ ๆ เข้ากับวัสดุเหล่านี้อย่างต่อเนื่องซึ่งอาจเป็นที่สนใจของผู้เพาะปลูก ขึ้นอยู่กับสภาพการเจริญเติบโตเฉพาะของพืช ความหลากหลายของสิ่งปกคลุมสำหรับโรงเรือนและโครงสร้างการผลิตพืชอื่น ๆ เพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงสี่ทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งเป็นผลมาจากความพร้อมของประเภทใหม่ ๆ ครอบคลุมถึงวัสดุและการปรับปรุงวัสดุที่มีอยู่เดิมตลอดจนความต้องการการปรับปรุงเทคโนโลยีภายในอุตสาหกรรม การเกษตรสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมขยายตัวประเภทของวัสดุคลุมที่มีอยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นพลาสติก เหล่านี้มีตั้งแต่ แก้วแบบดั้งเดิมจนถึงการกำเนิดล่าสุดของพลาสติกโพลีเมอร์ เช่น ฟิล์มบางหรือแข็งหลายชั้น แผงพลาสติกเทอร์โมเซต การปรับปรุงที่มีอยู่ เช่น การย่อยสลายรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet, UV) สารยับยั้ง การดูดซับรังสีอินฟราเรด (Infrared Radiation, IR) และพื้นผิวหยาบป้องกันการควบแน่นเช่นกัน มีการอภิปรายคุณสมบัติทางกายภาพและสเปกตรัม การเลือกใช้การปกปิดโดยเฉพาะทางเลือกอื่นมีผลกระทบต่อโครงสร้างส่วนบนของโรงเรือนและการผลิตพืชผลแบบระบบปิด (Baeza, & López, 2012)

โรงเรือนที่มีโครงสร้างน้ำหนักเบาคลุมด้วยพลาสติกเป็นที่นิยมใช้กันตั้งแต่ระดับบ้านเรือนไปจนถึงกิจการการค้าขนาดใหญ่ โดยในโลกมีพื้นที่การใช้โรงเรือนพลาสติกเป็น 3 เท่า ของการใช้โรงเรือน พลาสติกที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีหลายชนิด ได้แก่

2.1.1.1 พลาสติกโพลีเอทิลีน (Polyethylene) เป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดสำหรับการคลุมโรงเรือน การค้นพบพลาสติกโพลีเอทิลีนโดยบังเอิญในปี 1933 ถือเป็นก้าวสำคัญสำหรับโรงเรือนสมัยใหม่ พลาสติกโพลีเอทิลีนถูกผลิตโดยการโพลีเมอไรเซชันของมอนอเมอร์เอทิลีน มันเกิดขึ้นโดยบังเอิญเมื่อออกซิเจนรั่วเข้าสู่ภาชนะทดสอบที่มีความร้อนสูงเกินไปและให้การกระตุ้นที่จำเป็นสำหรับกระบวนการโพลีเมอไรเซชัน (Jagger, 2008)

2.1.1.2 พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (Ethylene-vinyl acetate copolymers, EVA) เป็นพลาสติกที่เกิดจากส่วนผสมระหว่าง ethylene และ vinyl acetate มีความเหนียวและความใสดี ยอมให้รังสีผ่านน้อยกว่า PE แต่การกระจายของแสงมากกว่า เก็บกักรังสีอินฟราเรดได้ดีพอๆกับพอลิไวนิลคลอไรด์ มีความทนทานต่อ แสงอัลตราไวโอเล็ตได้ดีกว่า PVC และ PE ไม่เป็นเปราะแม้ที่อุณหภูมิต่ำถึง -40°C ประเทศในภูมิภาคหนาวจัดจึงนิยมใช้ EVA มาก แต่

ข้อเสียคือ เหนอะหนะและหย่อนได้ เมื่อมีแรงดึงและมีไฟฟ้า สถิตสูงจะทำให้ฝุ่นเกาะง่าย อีกทั้งมีราคาแพง

2.1.1.3 พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride, PVC) พอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดอ่อน นิยมใช้รองจากพลาสติกพอลิเอทิลีน โดยปกติแล้วพอลิเมอร์ชนิดนี้จะแข็งจึงต้องมีการผสมพลาสติก ไซเซอร์เพื่อให้สามารถโค้งงอได้ แต่สารพลาสติกไซเซอร์สามารถระเหยได้เมื่อมีอุณหภูมิสูง การสูญเสียสารนี้ทำให้พอลิไวนิลคลอไรด์แข็งกระด้างมากขึ้นเรื่อยๆ และทำให้มีสีคล้ำมัว จึงต้องผสมสารป้องกันแสงอัลตราไวโอเล็ต PVC สามารถลดการส่งผ่านรังสีคลื่นสั้นเข้าภายในโรงเรือนโดยการดูดกลืนความร้อน ทำให้อุณหภูมิของผิวพลาสติกมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิวพลาสติก PE ประมาณ 30°F

2.1.1.4 พอลิไวนิลฟลูออไรด์ (Polyvinyl fluoride, PVF หรือ Tedlar) ผิวของ PVE มี ลักษณะคล้ายกับผิวกระจกจึงยอมให้แสงผ่านได้ดี สามารถใช้ในช่วงอุณหภูมิ 0-180°C อายุการใช้งานนาน 8-10 ปี และมีราคาแพงเป็น 5 เท่าของ PE แต่เนื่องจากมีความทนทานจึงมีราคาต้นทุน ต่อปีต่ำกว่า

2.1.1.5 แผ่นพลาสติกเรียบชนิดแข็ง (Rigid Sheet Plastic) นอกจากพลาสติกอ่อนที่นิยมใช้คลุมโรงเรือน ยังมีแผ่น พลาสติกแข็งที่นิยมใช้คลุมโรงเรือนเช่น Glass Fiber reinforced Polyester หรือที่เรียกว่าแผ่น fiberglass (FRP) ทำเป็นแผ่นเรียบหรือเป็นร่อง มีน้ำหนักเบา, clear PVC และ Polymethyl Methacrylate (acrylic) พลาสติกเหล่านี้สามารถใช้ในความยาวคลื่นแสง 450-750 นาโนเมตร สามารถรับแรงกระแทกได้แต่เปราะ, ไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อใช้ไปนานๆ และทนต่อสภาวะ แดดล้อมได้ดี นอกจากนี้ยังมีวัสดุที่เรียกว่า Polycarbonate ที่มีลักษณะคล้าย Acrylic ในแง่ของ การเก็บความร้อนและยอมให้แสงผ่านทนแรงอัดได้ดีกว่ากระจก 200 เท่า และมีน้ำหนักเพียง 1/6 เท่าของกระจก

2.2 วัสดุโปร่งแสงหลังคาโรงเรือน (Roof material)

วัสดุที่จะนำมาทำเป็นวัสดุคลุมโรงเรือนนั้นคือวัสดุโปร่งแสง หมายถึงวัสดุที่มีคุณสมบัติให้แสงสามารถเดินทางผ่านได้ วัสดุที่นิยมใช้เป็นวัสดุคลุมหลังคาและด้านข้างของโรงเรือนมีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดมีความสามารถในการให้แสงผ่านและทนทานต่อรังสีดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน การกระจายความร้อนไม่เท่ากัน ทำให้มีอายุการใช้งานนานแตกต่างกันด้วย

2.2.1 กระจก (Glass) เป็นวัสดุที่นำมาใช้มุงโรงเรือนตั้งแต่ยุคแรกและใช้กันจนถึงปัจจุบัน เป็นวัสดุที่ยอมให้แสงผ่านได้ดีที่สุด (>90%) ทนทานต่อรังสีดวงอาทิตย์ มีอายุการใช้งานนานแต่ไม่ทนแรงกระแทก แต่มีข้อเสียที่มีน้ำหนักมาก ต้องใช้โครงสร้างที่แข็งแรงทำให้มีราคาก่อสร้างที่สูง คุณสมบัติโดยทั่วไปของกระจกมีดังนี้

2.2.1.1 U-Factor U-Factor หรือ U – Value เป็นค่าที่วัดอัตราการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นในกระจก และโครงสร้าง ส่วนค่าความต้านทานหรือค่าความเป็นฉนวนของวัสดุจะเรียกว่าค่า R ซึ่งจะมีลักษณะที่กลับกันกับค่า U-Factor ในการเลือกกระจกต้องเลือกให้ค่า U-Factor จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่สำคัญค่าหนึ่งในการเลือกกระจก

ภาพที่ 2.1 : วัสดุหลังคาโรงเรือนแบบต่าง ๆ



2.2.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (Solar Heat Gain Coefficient, SHGC) ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก เป็นค่าอัตราของรังสีความร้อนที่ถูกส่งผ่านเข้ามาทางกระจกจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 – 1 ค่า SHGC ของกระจกที่ต่ำจะทำให้การส่งผ่านความร้อนแสงอาทิตย์เข้ามามีค่าต่ำลงด้วย

2.2.1.3 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแสง (Visible Transmittance, VT)

สัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแสง (Visible Transmittance, VT) เป็นสมบัติในการ ยอมให้แสงไฟ ในช่วงที่ตามนุษย์ผ่านกระจกมองเห็นเข้ามาได้

2.2.1.4 การรั่วไหลของอากาศ (Air Leakage, AL) เมื่ออุณหภูมิในห้องสูงขึ้นความดัน ภายในต้องสูงตามขึ้นด้วย เมื่อเกิดความแตกต่าง ของความดันผลที่ตามมาคืออากาศในห้องจะรั่วไหลออกไปยังภายนอกเย็นกว่า

วัสดุกระจกที่ใช้คลุมโครงสร้างของโรงเรือนสามารถส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน เนื่องจากเป็นสิ่งกีดขวางเพียงอย่างเดียวที่แยกสภาพแวดล้อมภายนอกออกจากพืชภายในโรงเรือน การส่งผ่านและการกระจายของแสง อุณหภูมิอากาศ และความชื้น สัมพัทธ์ภายในโรงเรือนสามารถแตกต่างกันไปตามประเภทของวัสดุกระจกที่ใช้ กระจกเป็นวัสดุแรกๆ ที่เลือกใช้สำหรับวัสดุกระจกจนถึงต้นทศวรรษ 1990 (Forbes, 1992) เนื่องจากความนิยมของมัน ภาชนะ ถูกเรียกเก็บจากผู้ผลิตและลูกค้ากระจกตั้งแต่ปี 1745 ถึง 1845 ในประเทศอังกฤษ อย่างไรก็ตาม

กระจกมีราคาแพง และโรงเรือนในศตวรรษที่ 19 ในอังกฤษมักสร้างโดยผู้มีฐานะดี ในช่วงเวลานั้น กระจกแผ่นโค้งหรือกระจกหางปีเวอร์กลายเป็นการออกแบบที่ได้รับความนิยม เพราะบังคับให้น้ำฝน ไหลออกจากไม้หรือเหล็กหล่อและเข้าสู่ตรงกลางของแผ่นกระจก กระจกยังคงเป็นตัวเลือกยอดนิยม ส่วนหนึ่งเนื่องจากความแข็งแรงและคุณสมบัติการส่งผ่านแสงที่ดี และเนื่องจากการขาดตัวเลือก กระจกอื่น ๆ ในศตวรรษที่ 20 มีการปรับปรุงคุณภาพกระจกที่ใช้สำหรับวัสดุกระจกอย่างมาก กระจกใสที่มีด้านเรียบสมบูรณ์แบบและกระจกที่มีลวดลายพื้นผิวด้านหรือปริซึมกลายเป็นวัสดุที่มีให้ใช้ สำหรับโรงเรือน แม้ว่าการส่งผ่านแสงจะไม่แตกต่างกัน แต่กระจกปริซึมมีแสงที่กระจายมากกว่า (เหมาะสำหรับสภาพอากาศเขตร้อนที่มีแสงแดดจัด) เมื่อเทียบกับกระจกใส (Victoria, Kempkes, Van Weel, Stanghellini, Dueck & Bruins, 2012) กระจกใสทั้งแบบอบและแบบนิรภัยถูกใช้ใน โรงเรือนอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม กระจกนิรภัยมีความแข็งแรงมากกว่า (ทนต่อการบีบอัดหรือ แรงดึง) (Wageningen, 2018) มากกว่ากระจกอบและแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ที่ไม่ก่อให้เกิดความ เสี่ยงต่อผู้คน ดังนั้นกระจกนิรภัยจึงถูกใช้ในการคลุมหลังคาโรงเรือน กระจกทั้งแบบชั้นเดียวและสอง ชั้น (มีชั้นอากาศระหว่างแผ่นกระจก) ถูกใช้ในโรงเรือนสมัยใหม่ กระจกสองชั้นมีการส่งผ่านความร้อน ต่ำกว่า (ลดค่าใช้จ่ายในการทำความร้อน) เนื่องจากมีชั้นอากาศระหว่างแผ่นกระจก อย่างไรก็ตาม กระจกชั้นเดียวกลายเป็นตัวเลือกที่พบบ่อยสำหรับโรงเรือนสมัยใหม่ เนื่องจากต้นทุนที่สูงกว่าของ กระจกสองชั้น

ภาพที่ 2.2 : แสดงคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก

เปรียบเทียบการใช้กระจกเฟลิกทีฟ			
	แผ่นเดี่ยว 6 Ref.	ลามิเนต 6 Ref.+6 ใส	อิซูลเอท 6 Ref.+6 ใส
VLT	24%	21%	21%
SHGC	0.35	0.37	0.26
U-Value	4.1	5.0	2.4



ภาพที่ 2.3 : แสดงรูปโรงเรือนใช้วัสดุกระจก



2.2.2 พลาสติกโพลีเอทิลีน (Polyethylene) เป็นวัสดุถุงหลังคาที่ยอมให้แสงผ่านได้ค่อนข้างดี (80-90%) แต่ไม่ทนต่อรังสีดวงอาทิตย์ มีอายุการใช้งานนาน 3-5 ปีขึ้นอยู่กับความหนาของพลาสติก ความหนาที่นิยมใช้อยู่ที่ 200 ไมครอน พลาสติกโพลีเอทิลีนเป็นวัสดุถุงหลังคาที่มีราคาถูกได้รับความนิยมในปัจจุบัน

ก่อนการค้นพบพลาสติกโพลีเอทิลีน ราคาสูงของกระจกจำกัดอุตสาหกรรมโรงเรือนไว้ที่โลกที่พัฒนาแล้ว ในทศวรรษ 1950 พิล์มโพลีเอทิลีนถูกนำมาใช้เป็นวัสดุกระจกสำหรับโรงเรือน เนื่องจากต้นทุนต่ำและน้ำหนักเบาของวัสดุกระจกและโครงสร้าง โรงเรือนที่คลุมด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีนจึงมีราคาถูกกว่าโรงเรือนแบบดั้งเดิมมาก สิ่งนี้ช่วยขยายอุตสาหกรรมโรงเรือนให้กับหลายภูมิภาคของโลก อุตสาหกรรมโรงเรือนเติบโตอย่างรวดเร็วในช่วงปลายศตวรรษที่ 20 ในหลายประเทศในเอเชีย แอฟริกา และตะวันออกกลาง (Giacomelli and Roberts, 1993) ปัจจุบันมีโรงเรือนในกว่า 115 ประเทศ (Sabir and Singh, 2013) และส่วนใหญ่คลุมด้วยฟิล์มพลาสติก ในสหรัฐอเมริกา Emery Myers Emmert ศาสตราจารย์ที่มหาวิทยาลัยเคนตักกี ได้ทำการวิจัยสำคัญในปี 1948 เกี่ยวกับการใช้พลาสติกโพลีเอทิลีนเป็นวัสดุคลุมโรงเรือน ในช่วงศตวรรษที่ 20 ฟิล์มพลาสติกประเภทอื่น ๆ รวมถึงเอทิลีนไวนิลอะซิเตทและเอทิลีนบิวทิลอะคริเลต ก็ถูกระบุว่าเป็นวัสดุ

กรูกระจกสำหรับโรงเรือนที่เหมาะสม พลาสติกที่ใช้คลุมโรงเรือน โดยเฉพาะฟิล์มที่ทำจากพลาสติกโพลีเอทิลีนมีความทนทานต่ำและการส่งผ่านความร้อนสูง สารเคมีเติมแต่ง เช่น สารกันหมอก สารกันฝุ่น สารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต และตัวบล็อกอินฟราเรด (IR) ถูกระบุว่าเป็นสารเติมแต่งในฟิล์มโพลีเอทิลีนเพื่อเพิ่มความทนทานและลดการส่งผ่านความร้อน (Blom and Ingrate, 1985) ฟิล์มพลาสติกบางชนิดที่มีเม็ดสีเรืองแสงที่เปลี่ยนรังสีพลังงานสูง (เช่น แสงอัลตราไวโอเล็ต) เป็นความยาวคลื่นอื่นที่พืชใช้ (เช่น แสงสีน้ำเงินและสีแดง) ถูกพัฒนาขึ้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากขาดข้อมูลที่เพียงพอเกี่ยวกับประสิทธิภาพ ฟิล์มดังกล่าวจึงยังไม่ได้รับการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย (Espi, Salmeron, Fontecha, Garcia & Real, 2006)

ภาพที่ 2.4 : แสดงรูปโรงเรือนใช้วัสดุพลาสติกโพลีเอทิลีน



2.2.3 แผ่นโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate sheet) เป็นวัสดุที่แสงผ่านได้ปานกลาง (70-80%) และมีอายุการใช้งานได้ 7 - 10 ปี มีน้ำหนักเบากว่ากระจก

พลาสติกแข็งถูกพัฒนาขึ้นเป็นวัสดุกรูกระจกสำหรับโรงเรือนในทศวรรษ 1990 ซึ่งรวมถึงอะคริลิก (ที่เรียกกันทั่วไปว่าเพลิกซิกลาส) โพลีคาร์บอเนต และพีวีซี พลาสติกแข็งเหล่านี้เป็นวัสดุที่อยู่ระหว่างกระจกและฟิล์มพลาสติก โดยมีการกระจายแสงเพิ่มขึ้นและการส่งผ่านความร้อนลดลง (Papadakis, Briassoulis, Scaracia Mugnozza, Vox, Feuilloley & Stoffers, 2000) เมื่อเทียบกับกระจก แต่มีความทนทานมากกว่าฟิล์มพลาสติก นอกจากนี้ พลาสติกแข็งอย่างโพลีคาร์บอเนตไม่ส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ตมากนัก พลาสติกแข็งที่ทำจากโพลีคาร์บอเนตถูกสังเคราะห์

โดยโพลีคอนเดนเซชันของฟอสจีน ซึ่งเป็นสารเคมีที่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายระหว่างสงครามเคมีในสงครามโลกครั้งที่หนึ่ง เหตุการณ์สำคัญในการใช้โพลีคาร์บอนเนตเป็นวัสดุกระจกคือการพัฒนากระบวนการที่กำจัดสีเหลืองอำพันในวัสดุในปี 1971 ซึ่งส่งผลให้ได้วัสดุใหม่ที่ใสเกือบเท่ากระจก (Nemali, 2022)

ภาพที่ 2.5 : แสดงรูปโรงเรือนใช้วัสดุแผ่นโพลีคาร์บอนเนต



2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในโรงเรือน

2.3.1 แสง (Light)

มีการศึกษาที่กล่าวว่าตามธรรมชาติ พืชใช้แสงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสง แสงยังเป็นตัวกระตุ้นและควบคุมกระบวนการพื้นฐานของการเจริญเติบโตในระดับต่าง ๆ เช่น การงอก การเคลื่อนที่หาแสง การเติบโตของลำต้น การออกดอก และการพักตัว ส่วนประกอบของแสงอาทิตย์ที่ผ่านแก้วปริซึมแบ่งออกเป็น 7 สี คือ สีส้ม ใต้แก่ แสงสีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด และสีแดงเป็นช่วงสีที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 390 – 760 นาโนเมตร ดังนั้นคุณภาพของแสง ความเข้มของแสง ความยาวของช่วงแสง หรือระยะเวลาที่พืชได้รับแสงต่างก็มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืช (อัมพา คำวงษา, 2553)

พืชเป็นสิ่งมีชีวิตที่อยู่นิ่งและสร้างอาหารเองผ่านการสังเคราะห์แสง วงจรชีวิตทั้งหมดของพืชจึงได้รับอิทธิพลอย่างมากจากสภาพแวดล้อมของแสงที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ เพื่อรับรู้และตอบสนองต่อสภาพแสงที่แปรปรวนเหล่านี้ พืชชั้นสูงมีครอบครัวของตัวรับแสงหลายชนิดที่สามารถตรวจจับแสงตั้งแต่ UV-B ไปจนถึงแสงใกล้อินฟราเรด (far-red) ลักษณะโมเลกุลของตัวรับ UV-B ยังไม่เป็นที่รู้จัก แสงแดง (R) และแสงแดงไกล (FR) ถูกตรวจจับโดยไฟโตโครม (phyA-phyE ใน *Arabidopsis*) ขณะที่ตัวรับแสง UV-A น้ำเงินสามคลาสได้ถูกระบุได้แก่ คริปโตโครม, โฟโตรปิน, และสมาชิกของครอบครัว Zeit Lupe (cry1, cry2, phot1, phot2, ZTL, FKF1, และ LKP2 ใน *Arabidopsis*) การเฉพาะเจาะจงของหน้าที่ภายในครอบครัวของตัวรับแสงทำให้เกิดสมาชิกที่ปรับให้เหมาะสมสำหรับความเข้มแสงหลากหลาย การศึกษาทางพันธุกรรมและการศึกษาชีวภาพด้วยแสงที่ดำเนินการใน *Arabidopsis* ได้แสดงให้เห็นว่าตัวรับแสงเหล่านี้เป็นสื่อกลางในการตอบสนองปรับตัวต่างๆ มากมาย (เช่น การโค้งเข้าหาแสงและการหลีกเลี่ยงเงา) และการเปลี่ยนแปลงทางพัฒนาการ (เช่น การงอกและการออกดอก) การตอบสนองทางสรีรวิทยาบางอย่างถูกกระตุ้นโดยตัวรับแสงเพียงตัวเดียว แต่ในหลายกรณีมีตัวรับแสงหลายตัวที่ทำให้เกิดการตอบสนองอย่างประสานงานกัน การศึกษาล่าสุดยังให้ตัวอย่างของการโต้ตอบระหว่างการตอบสนองของ *Arabidopsis* ต่อปัจจัยภายนอกต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างแสง อุณหภูมิ และเชื้อโรค แม้ว่าตัวรับแสงต่าง ๆ จะไม่มี ความเกี่ยวข้องกันในโครงสร้าง แต่ในหลายกรณีพวกมันกระตุ้นกลไกการส่งสัญญาณที่คล้ายกัน รวมถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนที่ถูกควบคุมโดยแสงหรือความเสถียรของปัจจัยการถอดรหัสหลายตัวที่ถูกควบคุมโดยแสง ความกว้างและความซับซ้อนของหัวข้อนี้ทำให้เราต้องมุ่งเน้นไปที่ด้านเฉพาะของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ถูกควบคุมโดยแสง พืชชั้นสูงไม่เพียงแต่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเคมีผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่านั้น แต่ยังใช้แสงเป็นสัญญาณข้อมูลเพื่อควบคุมการตอบสนองทางสรีรวิทยาหลายประการตลอดวงจรชีวิตของพวกมัน การตอบสนองเหล่านี้รวมกันเรียกว่าโฟโตมอร์โฟเจเนซิส การตอบสนองเหล่านี้สามารถกลับคืนได้ เช่น การเปิดปากใบ หรือไม่สามารถกลับคืนได้ เช่น การงอกของเมล็ด คุณภาพของแสง (องค์ประกอบของสเปกตรัม), ปริมาณ, ทิศทาง และระยะเวลา (Chitose, Séverine, Hornitschek & Fankhauser 2010)

ตัวรับแสงปรับเปลี่ยนการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชตลอดวงจรชีวิตของพวกมัน นอกจากนี้ โดยการเฝ้าติดตามสภาพแสง พวกมันมีส่วนช่วยในการกำหนดเวลาของการเปลี่ยนแปลงทางพัฒนาการที่สำคัญ เช่น การงอกของเมล็ดและการเริ่มต้นการออกดอก การตอบสนองทางสรีรวิทยาที่ขึ้นอยู่กับแสงซึ่งตัวรับแสงได้ถูกกำหนดไว้ เราจะอธิบายการตอบสนอง

เหล่านี้ยี่อย่างสั้น ๆ ได้ว่าลักษณะทางฟิสิกส์ที่พัฒนาโดยพืชตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ/ ปริมาณของแสงสามารถสังเกตได้ในสถานการณ์อื่น ๆ ด้วย ตัวอย่างเช่น ฟิสิกส์การหักเหของแสงที่อธิบายข้างต้นคล้ายกับฟิสิกส์ของพืชที่ปลูกภายใต้อุณหภูมิสูง (28 องศาเซลเซียส เทียบกับ 22 องศาเซลเซียส) หรือในสภาพน้ำท่วม

2.3.2 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมีผลโดยตรงกับการดูดน้ำและธาตุอาหาร การสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ การคายน้ำ และกิจกรรมของเอนไซม์ต่าง ๆ ดังนั้น อัตราการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิโดยตรง อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 15 - 40 องศาเซลเซียส (อัมพา คำวงษา, 2553)

อุณหภูมิส่งผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอก การเจริญเติบโต และการออกดอกคือประมาณ 20 องศาเซลเซียส สำหรับพืชหลายชนิด (Nemali, 2021) การทำความร้อนในโรงเรือนเป็นเรื่องปกติในช่วงฤดูหนาวในภูมิภาคเหนือ โดยเฉพาะเหนือเส้นละติจูดที่ 40° N (Nemali, 2021) ทั้งวิธีธรรมชาติ (แบบพาสซีฟ) และวิธีประดิษฐ์ (แบบแอกทีฟ) ถูกใช้ในการทำความร้อนในโรงเรือน แม้ว่าการทำความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานความร้อนใต้พิภพจะถือเป็นวิธีธรรมชาติ แต่การทำความร้อนแบบประดิษฐ์ใช้เชื้อเพลิง น้ำมัน ไฟฟ้า หรือไม้

รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อนสำคัญสำหรับโรงเรือน การค้นพบอินฟราเรด (IR) โดยวิลเลียม เฮอร์เชล ในปี 1800 ทำให้เราเข้าใจการได้ถึงการสูญเสียความร้อนจากโรงเรือนมากขึ้น กำแพงผลไม้ของศตวรรษที่ 17 ในอังกฤษ ฝรั่งเศส และเนเธอร์แลนด์ (De Decker, 2016) ใช้แนวคิดของรังสีอินฟราเรด เป็นแหล่งความร้อน กำแพงอิฐเหล่านี้จะอุ่นขึ้นในระหว่างวันโดยการดูดซับรังสีแสงอาทิตย์คลื่นสั้นและปล่อยความร้อนในรูปของรังสีอินฟราเรด คลื่นยาวในเวลากลางคืน พืชที่อยู่รอบ ๆ กำแพงผลไม้จะดูดซับรังสีอินฟราเรด และยังคงอบอุ่นในคืนที่อากาศเย็น นอกจากนี้กำแพงผลไม้ยังปกป้องพืชจากลมอีกด้วย โรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศจีนเป็นตัวอย่างอื่นที่ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานในการทำความร้อน โรงเรือนเหล่านี้มีพื้นที่หลังคาขนาดใหญ่ที่หันไปทางด้านใต้ซึ่งทำให้แสงอาทิตย์เข้าสู่โรงเรือนได้มากที่สุดในช่วงกลางวัน ความร้อนที่ได้จากส่วนประกอบและผนังของโรงเรือนในระหว่างวันจะถูกปล่อยเป็นรังสีอินฟราเรดในเวลากลางคืน เพื่อป้องกันไม่ให้รังสีอินฟราเรด ออกจากโรงเรือน จะมีการใช้ผ้าห่มคลุมหลังคาโรงเรือน ในเวลากลางคืนแทนที่จะใช้ผ้าห่ม โรงเรือนสมัยใหม่จะเพิ่มตัวบล็อคอนฟราเรด ลงในฟิล์มพลาสติก เพื่อสะท้อนแสงอินฟราเรดกลับเข้าสู่โรงเรือน ในโรงเรือนสมัยใหม่หลายแห่งจะใช้มันพลังงานเพื่อ

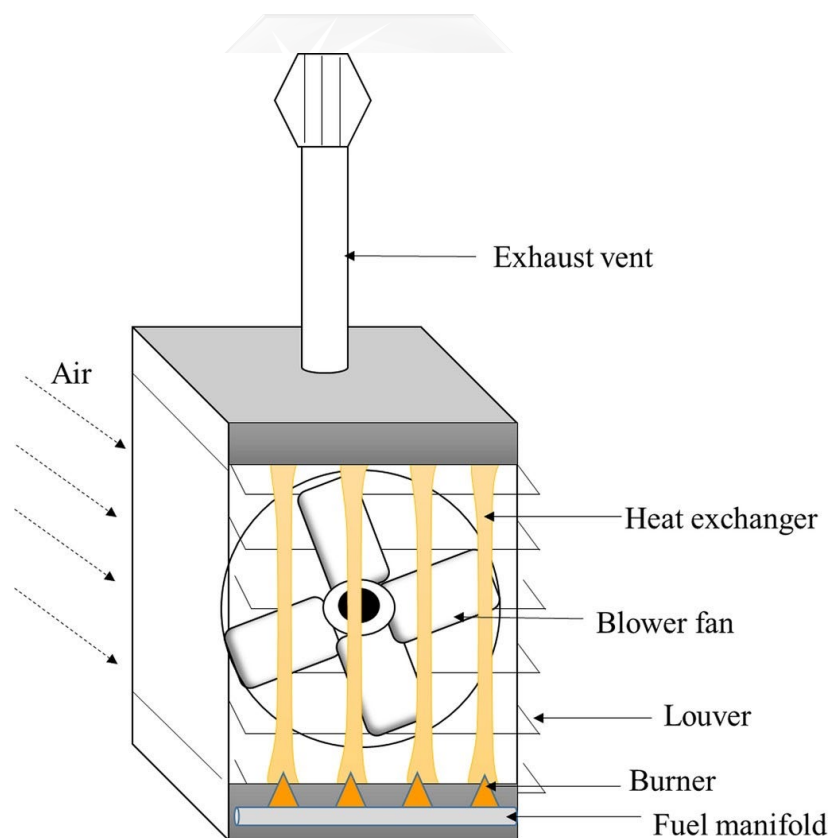
สะท้อนแสงอินฟราเรด กลับเข้าสู่โรงเรือนเพื่อลดการสูญเสียความร้อน (ในสภาพอากาศที่เย็นกว่า) หรือออกจากโรงเรือนเพื่อลดการรับความร้อน (ในสภาพอากาศที่อุ่นกว่า)

การทำความร้อนด้วยพลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นอีกวิธีหนึ่งของการทำความร้อนแบบพาสซีฟ วิธีนี้ใช้ความร้อนในดินเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้อุ่นขึ้นในเวลากลางคืน อุณหภูมิของดินที่ความลึก 6 ถึง 10 เมตรมักจะคงที่ตลอดทั้งปีและใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของภูมิภาค (Nemali, 2021) แนวคิดของพลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นที่รู้จักกันดีมานานหลายศตวรรษ ชาวกรีกและโรมันใช้น้ำและน้ำจากบ่อน้ำพุร้อนในอาบน้ำสาธารณะ ตัวอย่างหนึ่งคือการทำความร้อนด้วยพลังงานความร้อนใต้พิภพในเมืองปอมเปอีของโรมันในช่วงศตวรรษที่หนึ่ง (Lund, 2018) ระบบทำความร้อนด้วยพลังงานความร้อนใต้พิภพที่ใหญ่ที่สุดตั้งอยู่ในเรคยาวิก ประเทศไอซ์แลนด์ บ้านส่วนใหญ่ได้รับน้ำร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพสำหรับการทำความร้อนตั้งแต่ทศวรรษที่ 1930 (Lund, 2018) ในสหรัฐอเมริกา น้ำจากบ่อน้ำพุร้อนได้ถูกจ่ายให้กับบ้านในบอยซี รัฐไอดาโฮในปี ค.ศ. 1892 (Lund, 2018) พลังงานความร้อนใต้พิภพได้รับความนิยมมากขึ้นในทศวรรษที่ 1970 เนื่องจากวิกฤตน้ำมัน การขึ้นราคาก๊าซ และความกังวลด้านสิ่งแวดล้อมจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ปัจจุบันประเทศต่างๆ เช่น เนเธอร์แลนด์และฮังการีมีพื้นที่โรงเรือนจำนวนมากที่ใช้ความร้อนในฤดูหนาวโดยใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพ

การทำความร้อนแบบประดิษฐ์เป็นเรื่องปกติมากกว่าในโรงเรือนสมัยใหม่หลายแห่ง หลักฐานแรกของการทำความร้อนแบบประดิษฐ์ถูกบันทึกไว้ในกรุงโรมโดยใช้ระบบ Hypocaust หรือระบบทำความร้อนกลาง ตัวอย่างอื่น ๆ ได้แก่ การทำความร้อนด้วยพื้น Ondol ซึ่งใช้ในเกาหลีในช่วงทศวรรษที่ 1400 และเตา Dutch หรือการทำความร้อนด้วยพื้นเพื่อบังคับให้หัวดอกไม้บานในช่วงนอกฤดูปลูกในศตวรรษที่ 18 ก่อนทศวรรษที่ 1870 โรงเรือนในสหรัฐอเมริกาและยุโรปได้รับความร้อนจากความร้อนที่เกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ พืชที่ปลูกในภาชนะถูกวางบนเตียงที่ทำจากอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายภายในโรงเรือน ความร้อนจากอินทรีย์วัตถุทำให้เกิดสภาพแวดล้อมขนาดเล็กที่อบอุ่นสำหรับพืช อย่างไรก็ตาม ความท้าทายของวิธีนี้รวมถึงการขาดการควบคุมความร้อนและการมีอินทรีย์วัตถุสำหรับโรงเรือนขนาดใหญ่ ในช่วงกลางศตวรรษที่ 19 ได้มีการพัฒนาระบบทำความร้อนด้วยปล่องควันที่ประกอบด้วยเตาเผาไม้และท่อที่วิ่งไปตามพื้นของโรงเรือน วิธีนี้ทำให้สามารถควบคุมความร้อนภายในโรงเรือนได้โดยการปิดเชื้อเพลิงที่เตา อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการตรวจสอบอย่างต่อเนื่องเมื่อเตาเปิดอยู่ วิธีทั้งสองนี้ถูกแทนที่ด้วยระบบทำความร้อนด้วยน้ำในทศวรรษที่ 1870 ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้น้ำร้อนผ่านท่อที่วางอยู่ใต้แผ่นรอง คล้ายกับระบบทำความร้อนใต้แผ่นรองสมัยใหม่เนื่องจากท่อทำจากเหล็กหล่อ จึงเกิดสนิมอย่างหนัก ท่อเหล่านี้ถูกแทนที่ด้วยเหล็กหล่อในทศวรรษที่ 1880 ระบบทำความร้อนด้วยน้ำช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทำความร้อนเนื่องจากน้ำสามารถเก็บความ

ร้อนได้นานขึ้น ในช่วงทศวรรษที่ 1880 ได้มีการพัฒนาการทำความร้อนด้วยไอน้ำเพื่อจ่ายความร้อนผ่านท่อยาวในโรงเรือนขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ค่าเชื้อเพลิงสำหรับการสร้างไอน้ำสูงกว่าที่ต้องการสำหรับการทำน้ำร้อน ในโรงเรือนสมัยใหม่หลายแห่ง ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (เช่น โพรเพนและก๊าซธรรมชาติ) ถูกใช้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของโรงเรือนในช่วงฤดูหนาว โรงเรือนสมัยใหม่ใช้เครื่องทำความร้อนแบบหน่วยสำหรับการทำความร้อนแบบประดิษฐ์ (Nemali, 2021) ด้วยเครื่องทำความร้อนเหล่านี้ เชื้อเพลิงจะถูกจ่ายให้กับหัวเผาอย่างต่อเนื่อง

ภาพที่ 2.6 : เครื่องทำความร้อนแบบยูนิตที่ใช้สำหรับทำความร้อนในโรงเรือน



ที่มา : Nemali, K. (2021). Temperature Control in Greenhouses (HO-327-W).

2.4 สมดุลความร้อนในโรงเรือน (Energy Balance)

ความร้อนที่หมุนเวียนในโรงเรือนจะประกอบไปด้วย ความร้อนแฝง และความร้อนสัมผัส ความร้อนแฝงจะอยู่ในรูปของไอน้ำ โดยจะไม่ทำให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงขึ้น แต่จะทำให้

ความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ความร้อนสัมผัสได้รับอิทธิพลจากความร้อนที่เกิดจากภายในและภายนอก
โรงเรือน เป็นสาเหตุให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงขึ้น

2.4.1 ปัจจัยความร้อนสัมผัสที่โรงเรือนได้รับ แบ่งออกเป็น

- 2.4.1.1 ความร้อนผ่านส่วนต่างๆ ของโรงเรือน ได้แก่ ผนัง และหลังคา
- 2.4.1.2 ความร้อนจากภายนอกที่เข้าสู่ภายในโรงเรือน
- 2.4.1.3 ความร้อนที่ถ่ายจากพื้นดิน
- 2.4.1.4 ความร้อนจากต้นไม้ในโรงเรือน
- 2.4.1.5 ความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์

2.4.2 ปัจจัยความร้อนแฝงที่เกิดขึ้นในโรงเรือน แบ่งออกเป็น

- 2.4.2.1 ความร้อนแฝงของไอน้ำจากอากาศภายนอกเข้าสู่โรงเรือน
- 2.4.2.2 ความร้อนแฝงจากการหายใจของต้นไม้ภายในโรงเรือน
- 2.4.2.3 ความร้อนแฝงจากการระเหยของน้ำที่ผิวดิน

ในกรณีที่โรงเรือนมีวัสดุปิดคลุมเป็นฟิล์มพลาสติกใส ความร้อนส่วนใหญ่ที่โรงเรือนได้รับจะ เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านและถูกดูดกลืนไว้โดยพื้นโรงเรือน ส่วนความร้อนที่เหลือจะถูกดูดกลืนไว้ โดยวัสดุซึ่งเป็นส่วนประกอบของโรงเรือน

2.4.3 สมมติฐานในการศึกษาอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือน

- 2.4.3.1 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก
- 2.4.3.2 คุณสมบัติทางความร้อนของอากาศ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ
- 2.4.3.3 ไม่มีฝุ่นและคราบสกปรกบนผนัง และหลังคา
- 2.4.3.4 อุณหภูมิภายในโรงเรือนสม่ำเสมอเท่ากันทุกจุด
- 2.4.3.5 อุณหภูมิผนังด้านนอก และด้านในมีค่าเท่ากัน
- 2.4.3.6 ผนังมีความบางมากไม่มีการนำความร้อนในผนัง
- 2.4.3.7 อุณหภูมิพื้นโรงเรือนเท่ากับอุณหภูมิภายในโรงเรือน
- 2.4.3.8 ไม่มีการแผ่รังสีความร้อนระหว่าง ผนัง หลังคา และพื้นดิน ภายในโรงเรือน
- 2.4.3.9 การรั่วของอากาศเข้าโรงเรือนน้อยมากเมื่อเทียบกับการระบายอากาศ

2.5 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

คือการถ่ายเทของพลังงานความร้อน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ (Temperature Difference) ดังนั้น เมื่อใดก็ตามที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในตัวกลางหรือระหว่างตัวกลางการถ่ายเทความร้อนมักจะเกิดขึ้นได้ โดยการถ่ายเทความร้อนจะถ่ายเทจากที่มี

อุณหภูมิสูงไปที่มีอุณหภูมิต่ำเสมอ ดังนั้นความแตกต่างของอุณหภูมิจึงเป็นแรงขับเคลื่อน (Driving Force) เพื่อให้เกิดการถ่ายเทนั่นเอง

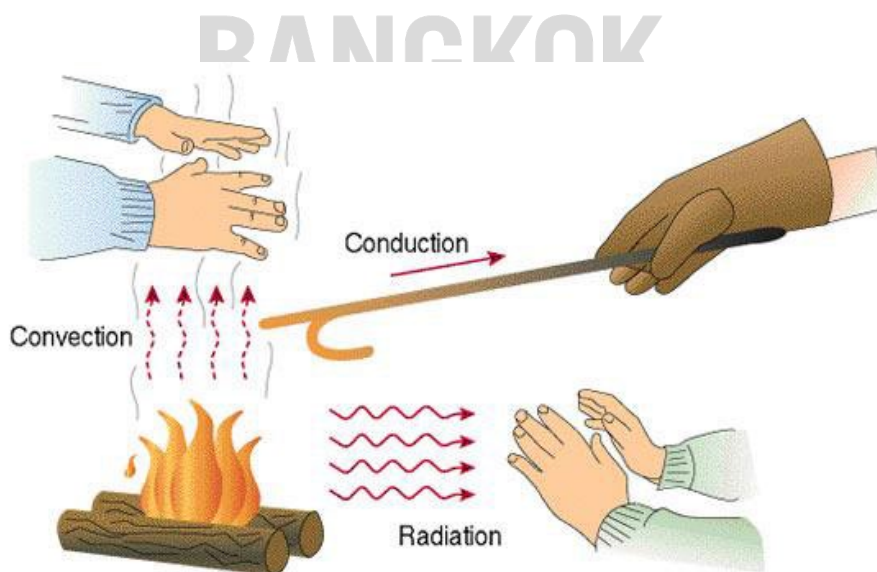
2.5.1 การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)

เป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนผ่านตัวกลางที่เป็นวัตถุ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่

2.5.2 การพาความร้อน (Convection Heat Transfer)

เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของของไหล ซึ่งของไหลที่กล่าวถึงจะอยู่ในสองสถานะ คือ ของเหลวและก๊าซ เมื่อของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุใดๆ ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้น ในสภาพธรรมชาติของไหลเมื่อถูกความร้อนจะเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งทำให้เกิดการไหลเวียนพาความร้อนโมเลกุลที่อุณหภูมิต่ำกว่า และมีความหนาแน่นสูงกว่าจะตกลงข้างล่าง ส่วนโมเลกุลที่ร้อนกว่าจะลอยตัวขึ้นด้านบน

ภาพที่ 2.7 : แสดงการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ

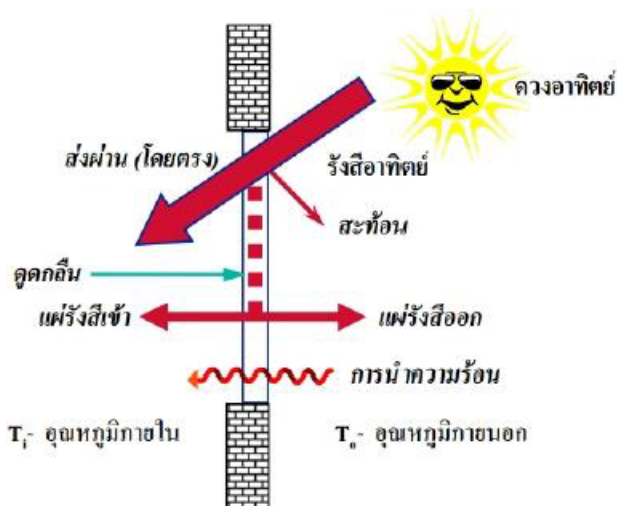


2.5.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีความร้อน เป็นการปล่อยพลังงานความร้อนในรูปแบบแม่เหล็กไฟฟ้าในทุกทิศทาง โดยไม่อาศัยตัวกลางใด ๆ ในการส่งถ่ายพลังงาน ซึ่งต่างจากการนำความร้อนและการพาความร้อนที่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน แต่ถ้การแผ่รังสี

ความร้อนนั้นมีตัวกลางที่ยอมให้รังสีผ่านได้ การแผ่รังสีความร้อนก็จะเกิดขึ้นได้ การแผ่ความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาวะสุญญากาศ

ภาพที่ 2.8 : แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก



ที่มา : คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงานกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553

THE CREATIVE UNIVERSITY

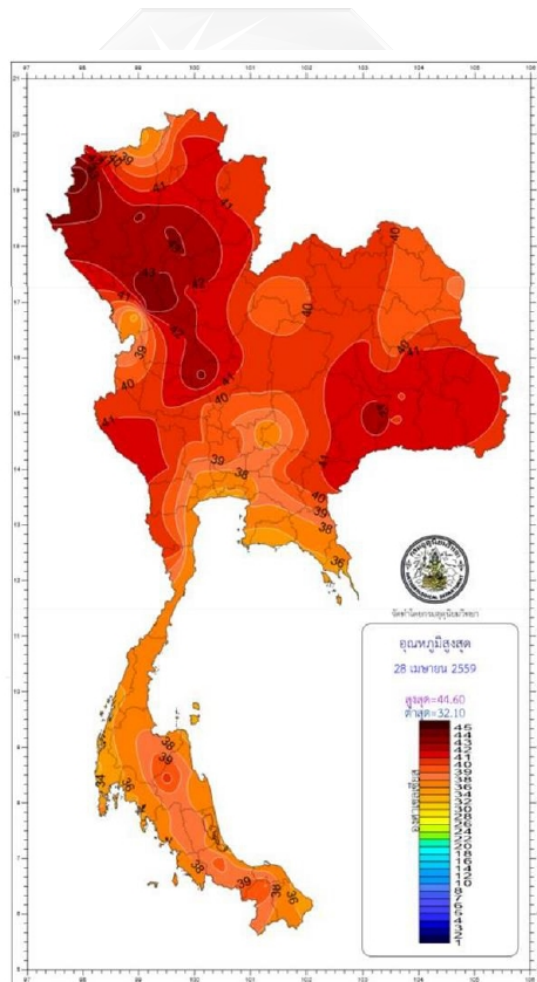
2.6 สภาพอากาศประเทศไทย

อุณหภูมิอากาศเกิดจากการแผ่รังสีอาทิตย์ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา เช่น ปี ฤดูกาล เดือน วัน หรือแม้กระทั่งรายชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในรอบวัน เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของโลกทำให้มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป ในช่วงเวลาเที่ยงวันจะอยู่สูงเหนือขอบฟ้ามากที่สุด รังสีอาทิตย์จะตกกระทบผิวโลกเป็นมุมฉากจึงมีความเข้มของแสงสูง ทำให้เวลาเที่ยงมีอุณหภูมิอากาศสูง เวลาเช้าและเย็นรังสีอาทิตย์จะอยู่ใกล้ขอบฟ้า แสงตกกระทบเป็นมุมเฉียง ความเข้มของแสงน้อยกว่าเวลาเที่ยงวัน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในรอบเดือน เกิดจากการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์ เนื่องจากโลกทำมุม 23.5 องศา กับแนวระนาบการหมุนของโลก จึงทำให้แต่ละในช่วงเวลาของปีได้รับปริมาณรังสีอาทิตย์ไม่เท่ากัน จึงเกิดเป็นฤดูกาลต่างๆ

ในช่วงฤดูร้อนปี พ.ศ. 2559 ตั้งแต่วันที่ 2 มีนาคม พ.ศ. 2559 ประเทศไทยมีอากาศร้อนอบอ้าวหลายพื้นที่ โดยเฉพาะในเดือนเมษายน มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างชัดเจน

และร้อนจัดทางตอนบนและบางพื้นที่ในภาคใต้ สาเหตุมาจากหย่อมความกดอากาศ
ต่อเนื่องจากความร้อนปกคลุมประเทศไทยตอนบนและบางพื้นที่ในภาคใต้ เมื่อวันที่ 26-
27 เมษายน พ.ศ. 2559 ส่งผลทำให้วันที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2559 อุณหภูมิอากาศร้อน
สูงสุด 44.6 องศาเซลเซียสทางตอนเหนือของประเทศไทย ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งสูงกว่า
สถิติเดิมของไทยที่เคยวัดได้ 44.5 เมื่อวันที่ 27 เมษายน พ.ศ. 2503 ตั้งแต่เริ่มมีการ
บันทึกข้อมูลในปีพ.ศ. 2494

ภาพที่ 2.9 : แสดงแผนที่อุณหภูมิ สูงสุด เฉลี่ยเดือน เมษายน พ.ศ. 2562



ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา, 2559

ตารางที่ 2.1 : สถิติอุณหภูมิของประเทศไทยในฤดูต่าง ๆ

สถิติอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของประเทศไทยในฤดูกาลต่าง ๆ				
อุณหภูมิ	ภาค	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
เฉลี่ย	เหนือ	23.4	28.1	27.3
	ตะวันออกเฉียงเหนือ	24.2	28.6	27.6
	กลาง	26.2	29.7	28.2
	ตะวันออก	26.7	29.1	28.3
	ใต้			
	- ฝั่งตะวันออก	26.3	28.2	27.8
	- ฝั่งตะวันตก	27.0	28.4	27.5
สูงสุดเฉลี่ย	เหนือ	31.1	36.1	32.4
	ตะวันออกเฉียงเหนือ	30.6	35.2	32.6
	กลาง	32.3	36.2	33.4
	ตะวันออก	32.0	34.1	32.3
	ใต้			
	- ฝั่งตะวันออก	30.4	33.0	32.7
	- ฝั่งตะวันตก	32.0	34.1	31.6
ต่ำสุดเฉลี่ย	เหนือ	17.5	21.8	23.8
	ตะวันออกเฉียงเหนือ	18.7	23.2	24.4
	กลาง	21.2	24.6	24.8
	ตะวันออก	22.3	25.2	25.2
	ใต้			
	- ฝั่งตะวันออก	22.8	24.1	24.4
	- ฝั่งตะวันตก	23.2	24.0	24.3

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524 – 2553)

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา. (2551). เอกสารวิชาการ ความผันแปรและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย และการคาดการณ์ในอนาคต

ตารางที่ 2.1(ต่อ) : สถิติอุณหภูมิของประเทศไทยในฤดูต่าง ๆ

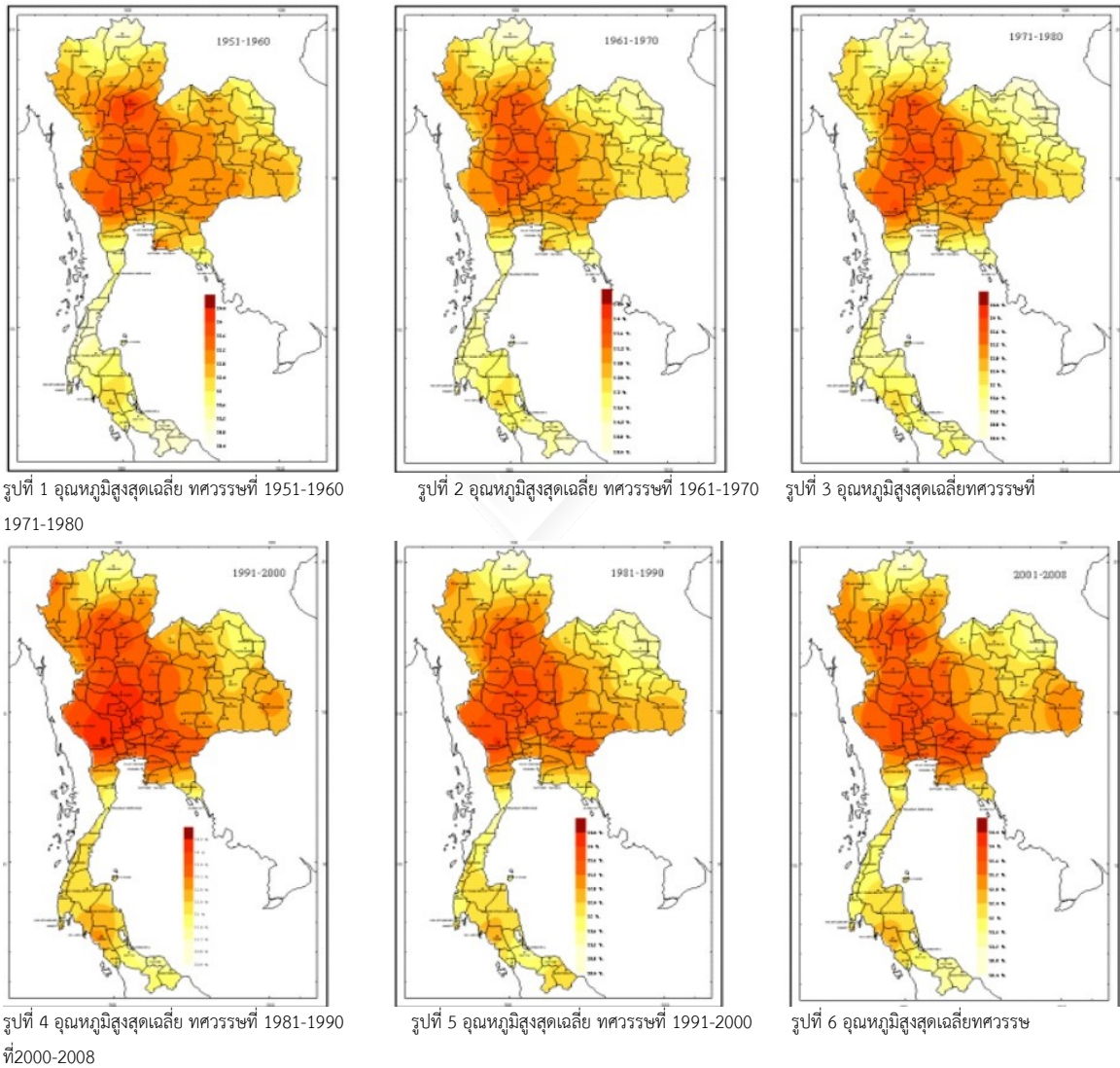
สถิติอุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส) ของประเทศไทยในช่วงฤดูร้อน					
ภาค	อุณหภูมิสูงสุด	วันที่	เดือน	พ.ศ.	จังหวัด
เหนือ	44.6	28	เม.ย.	2559	แม่ฮ่องสอน
ตะวันออกเฉียงเหนือ	43.9	28	เม.ย.	2503	อุดรธานี
กลาง	43.5	29	เม.ย.	2501	กาญจนบุรี
		14	เม.ย.	2526	กาญจนบุรี
		14, 20	เม.ย.	2535	กาญจนบุรี
ตะวันออก	42.9	23	เม.ย.	2533	ปราจีนบุรี (อ.กบินทร์บุรี)
ใต้					
- ฝั่งตะวันออก	41.2	15	เม.ย.	2541	ประจวบคีรีขันธ์ (สภ.หนองพลับ อ.หัวหิน)
- ฝั่งตะวันตก	40.5	29	มี.ค.	2535	ตรัง

สถิติอุณหภูมิต่ำที่สุด (องศาเซลเซียส) ของประเทศไทยในช่วงฤดูหนาว					
ภาค	อุณหภูมิต่ำที่สุด	วันที่	เดือน	พ.ศ.	จังหวัด
เหนือ	0.8	28	ธ.ค.	2542	ตาก (อ.อุ้มผาง)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	-1.4	2	ม.ค.	2517	สกลนคร (สภ.สกลนคร)
กลาง	5.2	27	ม.ค.	2536	กาญจนบุรี (อ.ทองผาภูมิ)
ตะวันออก	7.6	16	ม.ค.	2506	สระแก้ว (อ.อรัญประเทศ)
ใต้					
- ฝั่งตะวันออก	6.4	26	ธ.ค.	2542	ประจวบคีรีขันธ์ (สภ.หนองพลับ อ.หัวหิน)
- ฝั่งตะวันตก	13.7	21	ม.ค.	2499	ระนอง

หมายเหตุ : สภ. หมายถึง สถานีอากาศเกษตร ข้อมูลในคาบ 62 ปี (พ.ศ. 2494 – 2555)

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา. (2551). เอกสารวิชาการ ความผันแปรและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย และการคาดการณ์ในอนาคต

ภาพที่ 2.10 : ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายทศวรรษของประเทศไทย
ตั้งแต่ พ.ศ. 2494 - 2551

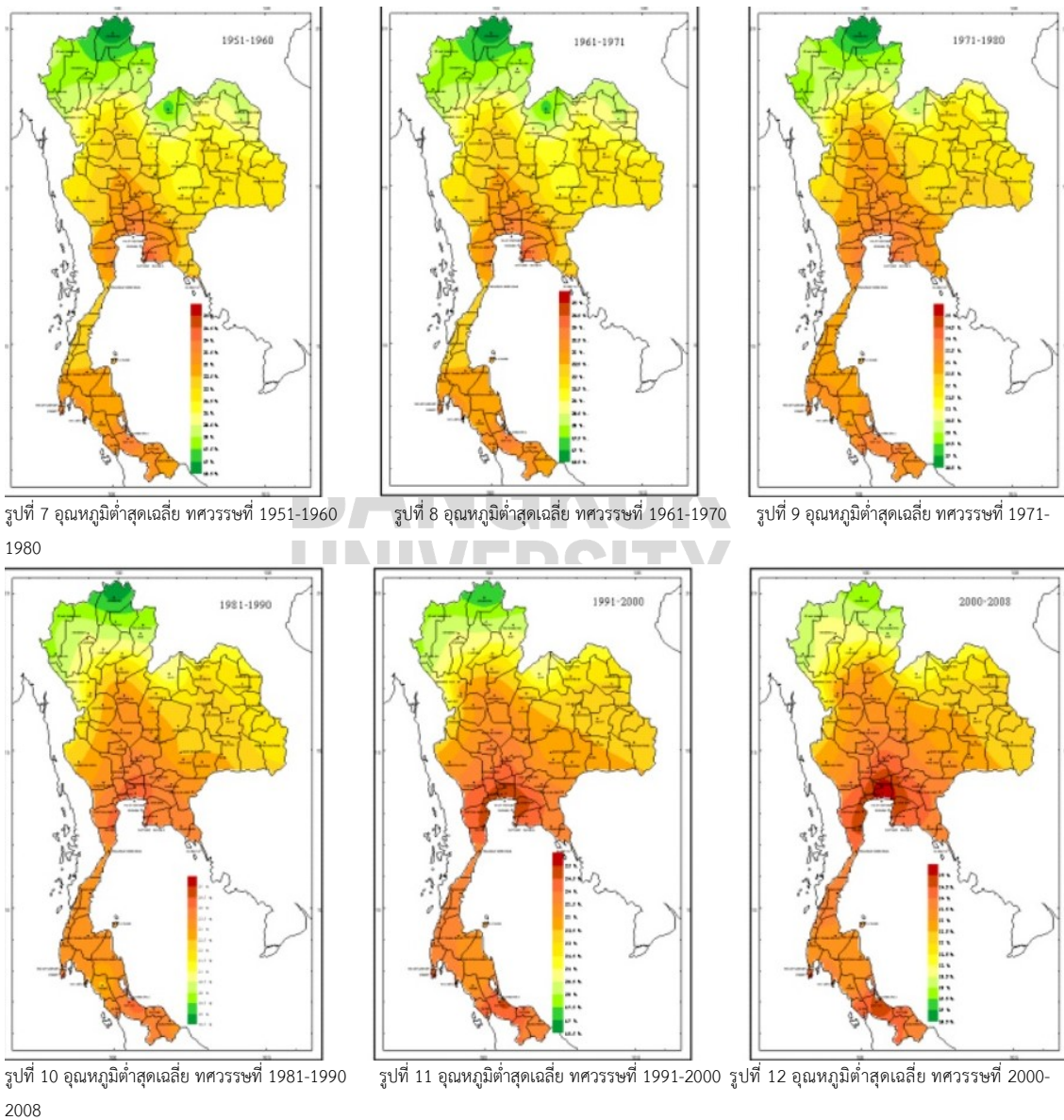


ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา. (2551). เอกสารวิชาการ ความผันแปรและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย และการคาดการณ์ในอนาคต

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของประเทศไทยรายทศวรรษ ช่วงที่ 1 ค.ศ. 1951 - 1960 (พ.ศ.2494 - 2503) ช่วงที่ 2 ค.ศ. 1961 - 1970 (พ.ศ. 2504 - 2513) ช่วงที่ 3 ค.ศ. 1971 - 1980 (พ.ศ. 2514 - 2523) ช่วงที่ 4 ค.ศ. 1981 - 1990 (พ.ศ. 2524 - 2533) ช่วงที่ 5 ค.ศ. 1991 - 2000

(พ.ศ. 2534 - 2543) และช่วงสุดท้าย (ค.ศ. 2544 - 2551) พบว่า พื้นที่ที่มีอากาศร้อนขยายพื้นที่เพิ่มมากขึ้น

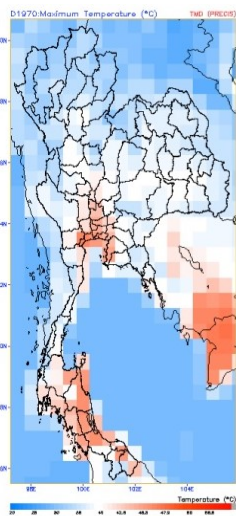
ภาพที่ 2.11 : ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายทศวรรษของประเทศไทย ตั้งแต่ พ.ศ. 2494 - 2551



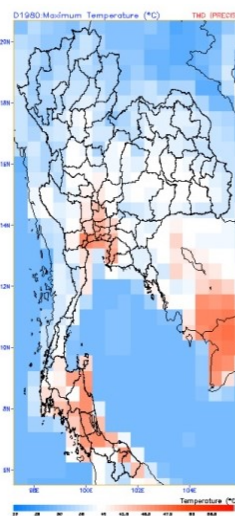
ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา. (2551). เอกสารวิชาการ ความผันแปรและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย และการคาดการณ์ในอนาคต

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยของประเทศไทยรายทศวรรษ ช่วงที่ 1 ค.ศ. 1951 - 1960 (พ.ศ. 2494 - 2503) ช่วงที่ 2 ค.ศ. 1961 - 1970 (พ.ศ. 2504 - 2513) ช่วงที่ 3 ค.ศ. 1971 - 1980 (พ.ศ. 2514 - 2523) ช่วงที่ 4 ค.ศ. 1981 - 1990 (พ.ศ. 2524 - 2533) ช่วงที่ 5 ค.ศ. 1991 - 2000 (พ.ศ. 2534 - 2543) และช่วงสุดท้าย (ค.ศ. 2544 - 2551) พบว่าพื้นที่ที่มีอากาศเย็นมีพื้นที่ลดลง

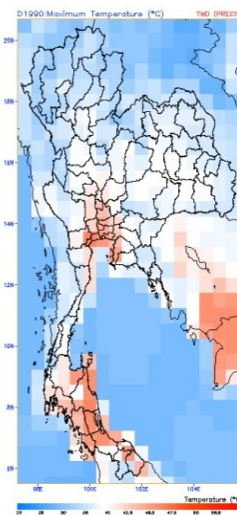
ภาพที่ 2.12 : ผลการคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในอดีตและอนาคตตั้งแต่ พ.ศ. 2504 - 2633



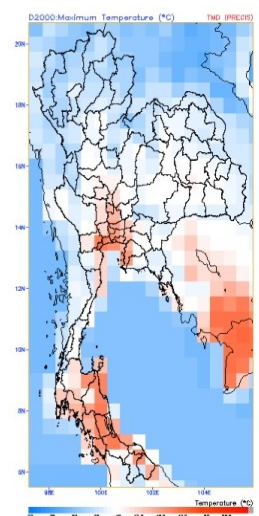
รูปที่ 13 คาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ทศวรรษที่ 1961-1970



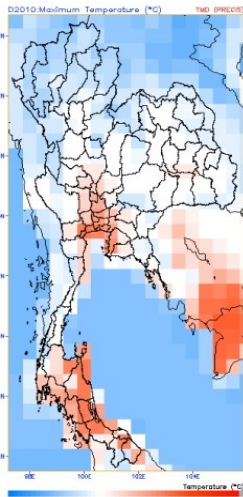
รูปที่ 14 คาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ทศวรรษที่ 1971-1980



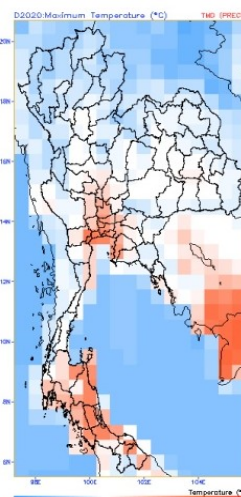
รูปที่ 15 คาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ทศวรรษที่ 1981-1990



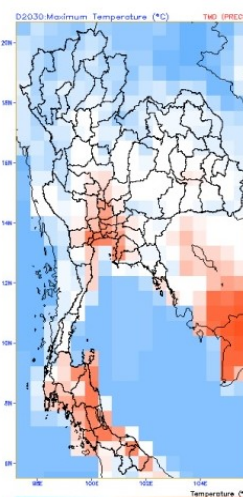
รูปที่ 16 คาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ทศวรรษที่ 1991-2000



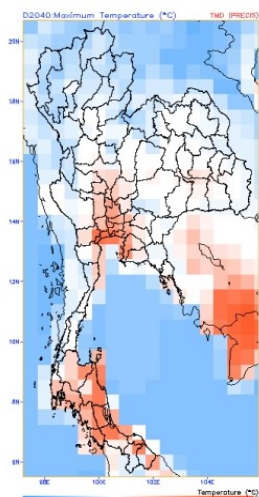
รูปที่ 17 คาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ทศวรรษที่ 2001-2010



รูปที่ 18 คาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ทศวรรษที่ 2011-2020

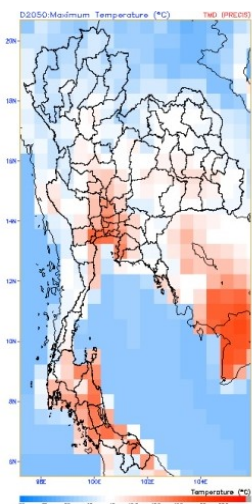


รูปที่ 19 คาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ทศวรรษที่ 2021-2030

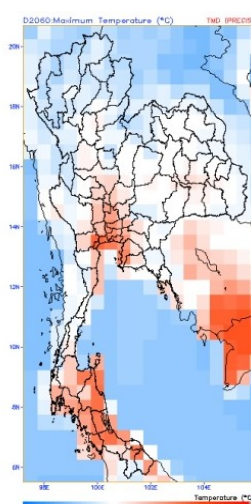


รูปที่ 20 คาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ทศวรรษที่ 2031-2040

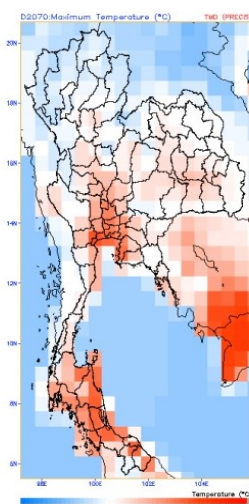
ภาพที่ 2.12(ต่อ) : ผลการคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในอดีตและอนาคตตั้งแต่ พ.ศ. 2504 – 2633



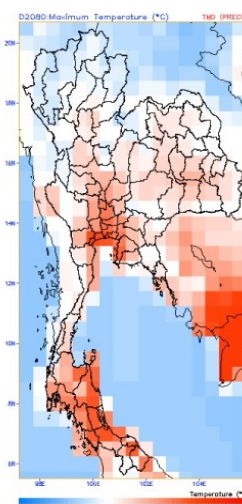
รูปที่ 21 คาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ทศวรรษที่ 2041-2050



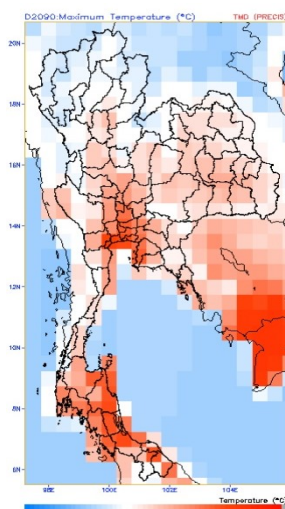
รูปที่ 22 คาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ทศวรรษที่ 2051-2060



รูปที่ 23 คาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ทศวรรษที่ 2061-2070



รูปที่ 24 คาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ทศวรรษที่ 2071-2080



รูปที่ 25 คาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ทศวรรษที่ 2081-2090

BANGKOK
UNIVERSITY
THE CREATIVE UNIVERSITY

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา. (2551). เอกสารวิชาการ ความผันแปรและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย และการคาดการณ์ในอนาคต

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของประเทศไทยราย ทศวรรษ ตั้งแต่ทศวรรษที่ 1970 (ค.ศ. 1961 - 1970) จนถึงทศวรรษที่ 2090 (ค.ศ. 2081 - 2090) ปรากฏว่า พื้นที่ที่มีอากาศร้อนขยาย

พื้นที่เพิ่ม มากขึ้นในแต่ละทศวรรษ เมื่อเปรียบเทียบช่วงทศวรรษที่ 2000 (ค.ศ. 1991 - 2000) และ ทศวรรษที่ 2090 (ค.ศ. 2081 - 2090) พื้นที่ที่มีอากาศ ร้อนขยายพื้นที่เพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน

2.7 หลักการและทฤษฎีของรังสีดวงอาทิตย์ (Theory of solar radiation)

2.7.1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar radiation)

ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นหนึ่งสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อ อุณหภูมิภายในอาคาร รังสีดวงอาทิตย์ปล่อยพลังงานในอัตรา 3.8×10^{23} กิโลวัตต์ต่อ วินาที (World Energy Council, 2013) เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบมายังพื้นผิวรอบ ๆ อาคารจะเกิดการสะท้อนความร้อนไปยังผนังอาคาร และเกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ อาคารภายในอาคารทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงขึ้น (Armindia & Kamaruddin, 2021)

นอกจากนี้การเพิ่มจำนวนของประชากรอย่างรวดเร็วและการกักเก็บความร้อนในโครงสร้างอาคารในเมืองรวมถึงกิจกรรมของมนุษย์ที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น การขนส่ง การทำความร้อน การปรับอากาศของอาคาร การเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซ โรงเรือนในชั้นบรรยากาศ ในช่วงกลางวันตึกสูงและพื้นคอนกรีตในเมืองจะดูดซับความร้อนจาก แสงอาทิตย์ไว้ เมื่อถึงเวลากลางคืนและอุณหภูมิลดลง วัสดุเหล่านี้จะปล่อยความร้อนออกมา นอกจากนี้อาคารสูงยังขัดขวางการไหลเวียนของลม ทำให้การถ่ายเทความร้อนในเมืองเป็นไปได้ยาก ส่งผลให้เมืองมีอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วงกลางคืน ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island Effect) (Parker, 2010) หรือที่เรียกว่าเป็นปรากฏการณ์การ สะสมความร้อน (Yang, Qian, Song, & Zheng, 2016) จากผลกระทบดังกล่าว ผู้วิจัย จึงสนใจการปรับปรุงคุณภาพสภาวะน่าสบายในอาคาร

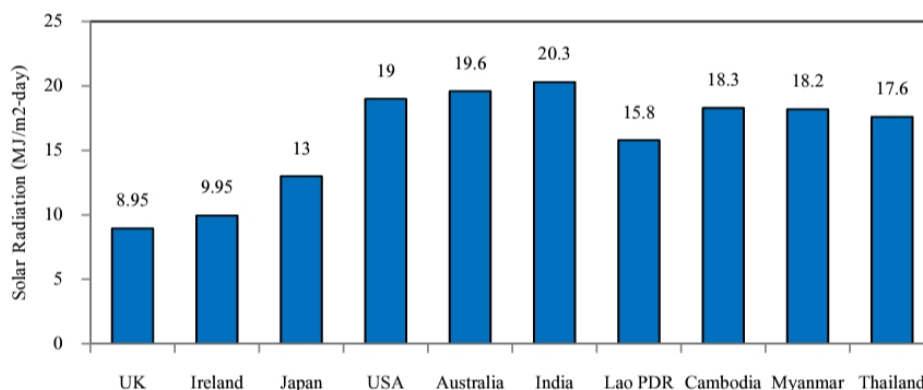
2.7.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตรทำให้ได้รับแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง และคงที่ตลอดทั้งปี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ศึกษาศักยภาพ พลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมของประเทศไทย พบว่าการกระจายความเข้มรังสี ดวงอาทิตย์บริเวณต่างๆในแต่ละเดือนของประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีดวงอาทิตย์ สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและเดือนพฤษภาคม มีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ/m²-day และรายวันเฉลี่ยต่อปีพบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีคือภาค ตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์

ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี อุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อัญญา ลพบุรี ได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีที่ 19 ถึง 20 MJ/m²-day

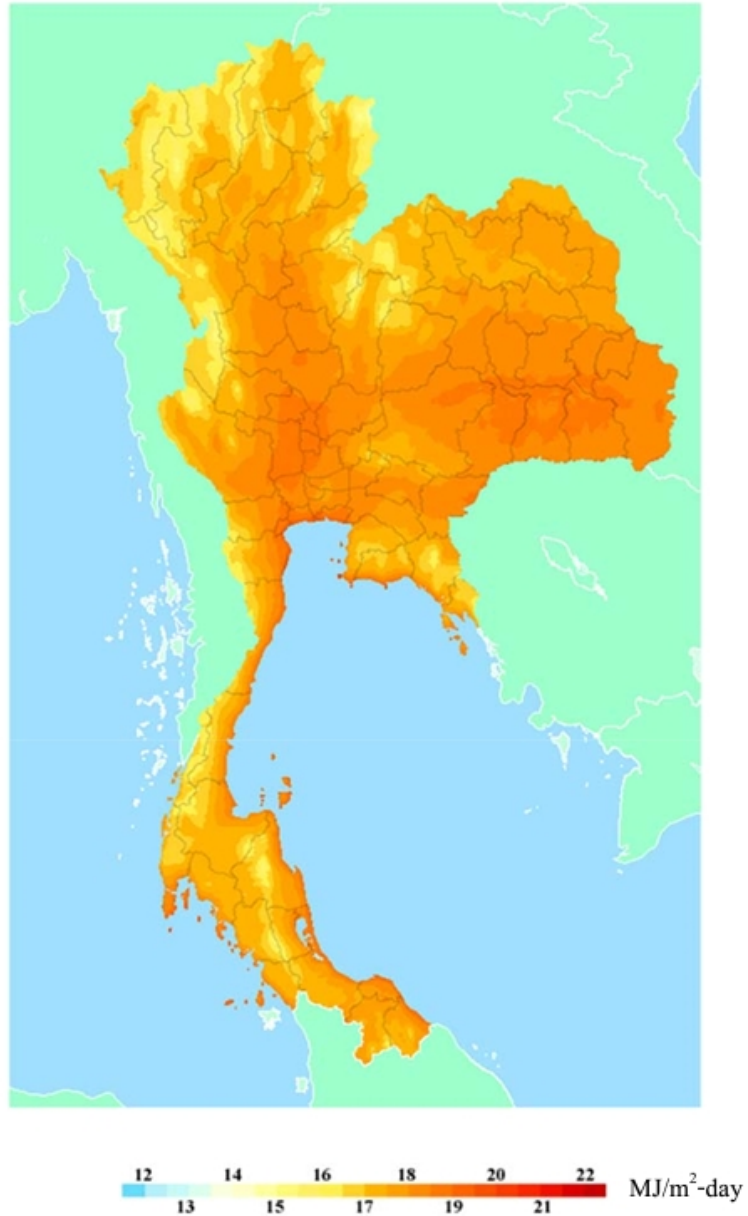
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ทำการคำนวณรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 17.6 MJ/m² - day ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับหลายๆประเทศ ดังแสดงในรูปที่ 1 และเมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยแปรค่าอยู่ในช่วง 18-20 MJ/m² - day จะอยู่ในบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดสิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สุรินทร์ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ บุรีรัมย์ ร้อยเอ็ด และบริเวณใกล้เคียง ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะกระจายลดหลั่นกันไปทางทิศเหนือ ตะวันออก และตะวันตกของประเทศตามแนวเทือกเขาตะนาวศรีโดยมีค่าต่ำสุดอยู่ทางภาคเหนือตอนบน ภาคตะวันตก และภาคใต้แถบติดชายแดนประเทศพม่า โดยจะแปรค่าอยู่ในช่วง 16-21 MJ/m² - day

ภาพที่ 2.13 : แสดงการเปรียบเทียบความเข้มรังสีรวมของประเทศไทยกับของประเทศอื่น



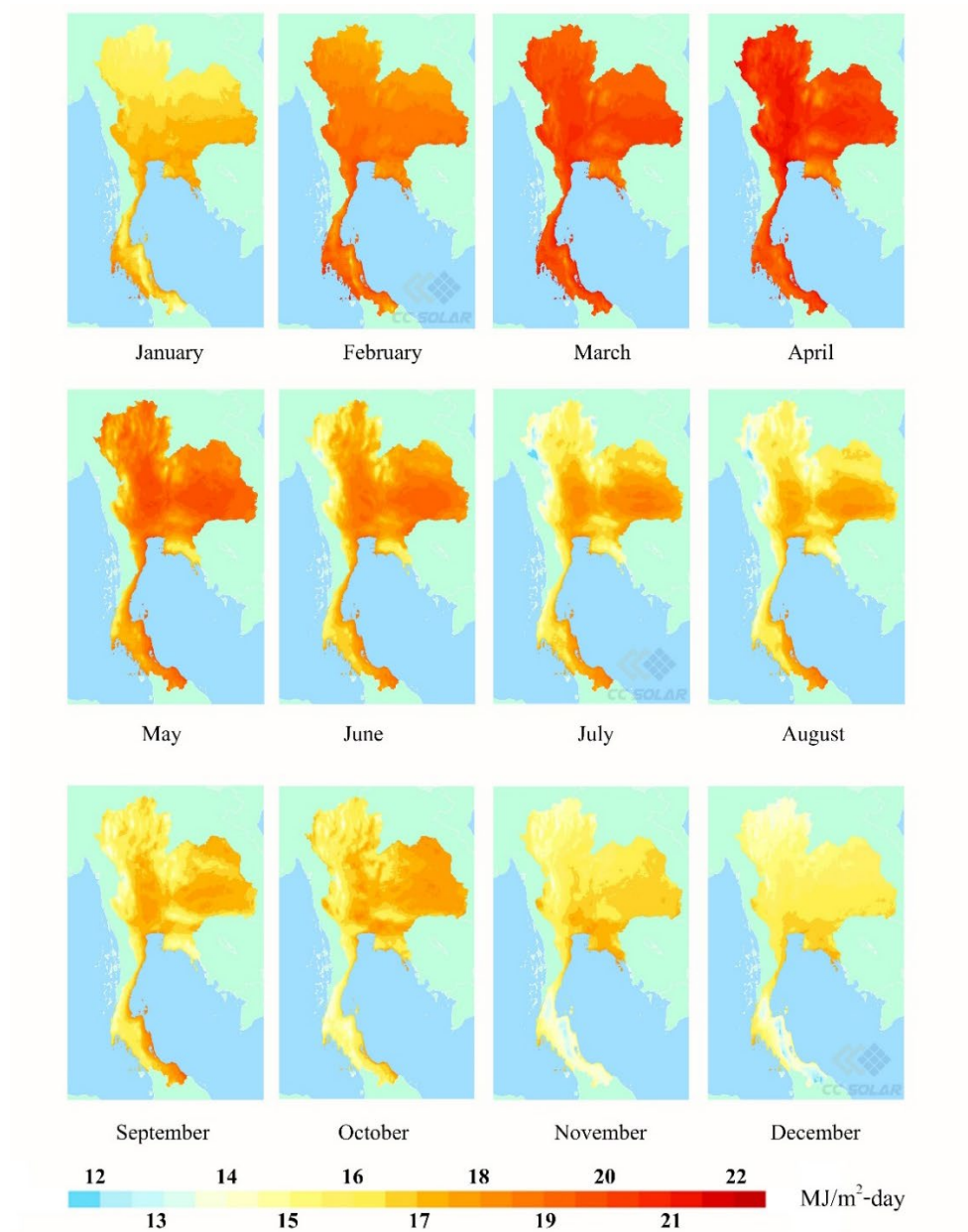
ที่มา: รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2561 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ภาพที่ 2.14 : แสดงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย



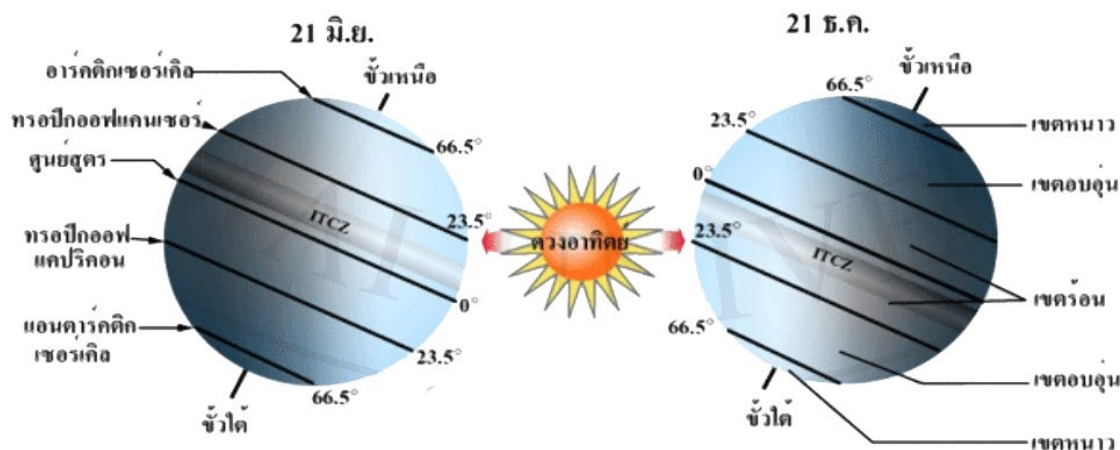
ที่มา: รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2561 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ภาพที่ 2.15 : แสดง แผนที่แสดงความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนต่าง ๆ



ที่มา: รายงานปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย ปีพ.ศ. 2561 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ภาพที่ 2.16 : ตำแหน่งของโลกที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว



ที่มา : www.kanta.ac.th

2.8 กรณีศึกษา (Case study)

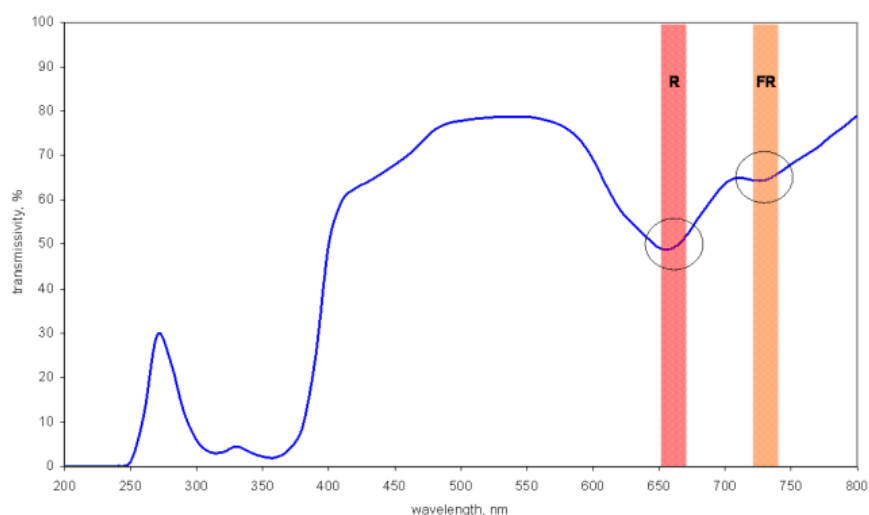
2.8.1 การเลือกใช้วัสดุสำหรับโรงเรือน วัสดุเคลือบทั่วไปสำหรับโรงเรือน ได้แก่ แก้ว อะคริลิก โพลีคาร์บอเนต พลาสติกโพลีเอทิลีน (มักเรียกว่า โพลีฟิล์ม) และไฟเบอร์กลาส วัสดุเหล่านี้สามารถใช้เป็นชั้นเดียวหรือหลายชั้นได้ และการใช้แบบสองชั้นเป็นเรื่องปกติทั่วไปที่ทำการ แก้วเป็นหลังคาโรงเรือนดั้งเดิม ในขณะที่โรงเรือนใหม่ ๆ ส่วนใหญ่ใช้กระจกโพลีฟิล์มสองชั้น ไฟเบอร์กลาสได้รับความนิยมในอดีตแต่ไม่ได้ใช้ในโรงเรือนเชิงพาณิชย์อีกต่อไปเนื่องจากมันเสื่อมสภาพ (สีเหลือง) อย่างรวดเร็ว ลดการส่งแสงได้เร็วกว่าวัสดุเคลือบอื่น ๆ ที่มีราคาใกล้เคียงกัน แก้วมักใช้เป็นชั้นเดียว จึงมีข้อเสียของการสูญเสียความร้อนสูง แต่ยังมีค่าส่งแสงสูงสุด ซึ่งสำคัญเพราะแสงเท่ากับการเจริญเติบโตของพืช แก้วมีอายุยืนนาน บ่อยครั้งจะทนทานกว่าโครงสร้างที่รองรับ แต่ก็หนักและต้องใช้โครงสร้างที่แพงกว่าเพื่อรองรับน้ำหนัก การเคลือบฟิล์มโพลีฟิล์มสองชั้นสูญเสียความร้อนในอัตราครึ่งหนึ่งของกระจกบานเดียว แต่มีอายุการใช้งาน 3 - 4 ปี ซึ่งเป็นวัสดุเคลือบที่สิ้นที่สุดในบรรดาวัสดุเคลือบใด ๆ และถ่ายทอดแสงน้อยกว่ากระจกประมาณ 10% ฟิล์มโพลีมีราคาถูกและน้ำหนักเบาของมันทำให้โครงสร้างราคาถูกลง วัสดุเคลือบผนังเดียวทั้งหมดจะส่งแสงแดดประมาณ 90% โดยไม่คำนึงถึงประเภทของวัสดุ การเคลือบชั้นที่สองช่วยลดการส่งแสงได้ประมาณ 10% โดยประมาณ อัตราการสูญเสียความร้อนในการขับเคลื่อนของกระจกบานเดียวจะประมาณเท่ากับวัสดุผนังเดียวอื่น ๆ (Scott, 2011)

2.8.2 การครอบคลุมวัสดุในฐานะตัวควบคุมการเจริญเติบโต พลาสติกและตาข่าย สามารถออกแบบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับเปลี่ยนการกระจายสเปกตรัมของรังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่าน ฝาครอบเพื่อมีอิทธิพลต่อพืชผักและกิจกรรมเชิงผลิต ซึ่งมักถูกควบคุมด้วยสารเคมีเกษตร ความยั่งยืน ของอุตสาหกรรมโรงเรือนสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยใช้วัสดุครอบคลุมเป็นหน่วยงานกำกับดูแลการ เจริญเติบโตของพืชในสถานที่เพาะปลูกการเปลี่ยนแปลงของสีแดง (R, 650-670 nm), สีแดงไกล (FR, 720-740 nm) และสีฟ้า (B, 400-500 nm) การแผ่รังสีในสภาพแวดล้อมที่กำลังเติบโตส่งผลต่อการ สร้างโฟโตมอร์โฟเจเนซิสของพืชที่เกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการทำงานของเซลล์รับแสง เช่น ไฟโตโครม และคริปโตโครม ที่การตอบสนองของไฟโตโครมมีลักษณะเฉพาะในแง่ของอัตราส่วน R/FR ของอัตรา การไหลของโฟตอนในสีแดงไปจนถึงสีแดงไกล มีการชี้ให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของการ เจริญเติบโตและการยึดตัวของหน่อไม้ต้นพืชและต้นเขตรัฐที่ปลูกภายใต้ฟิล์มเลือกแสงที่ลดอัตราส่วน R/FR เหลือ 0.93 จากค่า 1.15 ซึ่งบันทึกไว้ในสนามเปิดที่มหาวิทยาลัยบาเรีย (อิตาลี) การทดสอบทำ กับไม้ประดับแสดงว่า การเพิ่มอัตราส่วน R/FR มีลักษณะแคระแกร็นผลกระทบต่อการเจริญเติบโต ของพืช (Vox, Teitel, Pardossi, Minuto, Tinivella & Evelia, 2010)

ภาพที่ 2.17 : ตารางเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ของวัสดุหลังคาโรงเรือน

Material	% light transmission	U-value ¹	% thermal transmission ²	Life expectancy (years)	Flammability ³
Glass					
Single	88–93	1.1	3	25+	none
Double	75–80	0.7	< 3	25+	none
Acrylic					
Single	90	1.13	< 5	30+	medium
Double	84	0.49–0.56	< 3	30+	medium
Polycarbonate					
Single	90	1.1	< 3	10–15	low
Double (6–10 mm thick)	78–82	0.53–0.63	< 3	10–20	low
Triple (8–16 mm thick)	74–76	0.42–0.53	< 3	10–20	low
Polyethylene film					
Single	87	1.2	50	3–4	varies
Double	78	0.7	50	3–4	varies
Double, with IR	78	0.5	< 20	3–4	varies

ภาพที่ 2.18 : ความสามารถในการส่งผ่านแสงของฟิล์มที่ลดอัตราส่วน R/FR ของโฟตอน อัตราการไหลเวียนของสีแดง (R, 650 - 670 nm) ถึงสีแดงไกล (FR, 720 - 740 nm) ในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร



โรงเรียนสมัยใหม่เชิงพาณิชย์แตกต่างจากโรงเรียน ในศตวรรษที่ 18 และโรงเรียนในศตวรรษที่ 19 อย่างมาก การออกแบบโครงสร้างของโรงเรียนพัฒนาขึ้นส่วนใหญ่เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในท้องถิ่น โรงเรียนเชิงพาณิชย์หลายแห่งเริ่มดำเนินการในช่วงศตวรรษที่ 20 ในภูมิภาค Westland ของเนเธอร์แลนด์ โรงเรียนแบบ Westland มีแผ่นกระจกที่ถอดออกได้เพื่อให้ฝ้าฝนไหลในช่วงฤดูหนาวเพื่อระบายน้ำเกลือที่สะสมในดิน (Berkers & Geels, 2011) อย่างไรก็ตาม โรงเรียนเหล่านี้มีฉนวนกันความร้อนที่ไม่ดีเนื่องจากช่องว่างระหว่างแผ่นกระจก แม้ว่าจะได้รับการปรับปรุงอย่างมากเมื่อเทียบกับการออกแบบก่อนหน้านี้ที่ใช้ในการปลูกองุ่นในเนเธอร์แลนด์ โรงเรียนใน Westland ได้รับความเสียหายอย่างมากในช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง โดยประมาณว่ามีสวนพฤกษศาสตร์ 1.8 ล้านตารางเมตรที่เสียหายจากสงคราม (Berkers & Geels, 2011) ในช่วงการฟื้นฟูหลังสงคราม วิศวกรในเมือง Venlo ได้พัฒนาโครงสร้างโรงเรียนที่สูง มีหลายช่วง เป็นแก้ว และมีฉนวนกันความร้อนที่เรียกว่า Venlo style โรงเรียนเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการในประเทศและศักยภาพในการส่งออกผักหลังสงคราม การเป็นหุ้นส่วนวิจัยที่จัดตั้งขึ้นระหว่างอุตสาหกรรมโรงเรียนและมหาวิทยาลัย Wageningen หลังสงครามยังช่วยเสริมสร้างเทคโนโลยีโรงเรียนให้ก้าวหน้าอีกด้วย

โรงเรียนแบบ Venlo ถูกสร้างขึ้นด้วยคานเหล็กหรืออะลูมิเนียมที่กว้างเพื่อให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทนต่อลมแรงและหิมะซึ่งเป็นเรื่องปกติในภูมิภาคนี้ (ภาพที่ 2.1 A) การ

ออกแบบสไลต์ Venlo ช่วยให้มีพื้นที่ทำงานกว้างขึ้นเนื่องจากความต้องการเสากลางลดลงเนื่องจากมีคาน การออกแบบนี้ยังช่วยให้แสงแดดส่องเข้ามาในโครงสร้างได้ดี ปัญหาเกลือในดินถูกกำจัดไปโดยการล้างด้วยสปริงเกอร์และระบบระบายน้ำในโรงเรือน Venlo การส่งออกมะเขือเทศจากเนเธอร์แลนด์ไปยังเยอรมนีและอังกฤษเพิ่มขึ้นอย่างมากหลังสงครามโลกครั้งที่สอง อันเป็นผลมาจากการนำการออกแบบสไลต์ Venlo มาใช้ในภูมิภาค Westland ของเนเธอร์แลนด์ (Berkers & Geels, 2011) ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา การออกแบบสไลต์ Venlo มีการเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะเพื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศและลดต้นทุนโดยรวม การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ทำให้สไลต์ Venlo มีความหลากหลายสำหรับภูมิภาคที่ได้รับลมน้อยกว่าพื้นที่ชายฝั่ง (เช่น ภูมิภาคภาคพื้นทวีป) ปัจจุบันภูมิภาค Venlo เป็นหนึ่งในศูนย์กลางสำคัญของตลาดโรงเรือนในโลก และโรงเรือนสไลต์ Venlo ได้รับความนิยมในหลายภูมิภาคทั่วโลก (Krishna, 2022)

ในประเทศจีน การปลูกพืชในโรงเรือนเริ่มเพิ่มขึ้นในช่วงทศวรรษ 1980 ซึ่งสามารถสืบเนื่องมาจากนโยบายเปิดประเทศที่จีนยอมรับในปี 1978 ที่อนุญาตให้มีการค้าระหว่างประเทศได้อย่างเท่าเทียมกัน นโยบายเปิดประเทศนี้ทำให้ผู้ปลูกชาวจีนสามารถนำเข้าโครงสร้างโรงเรือนสมัยใหม่ เช่น การออกแบบแบบ Venlo อย่างไรก็ตาม เนื่องจากต้นทุนสูงของโรงเรือน Venlo ทำให้การออกแบบนี้ไม่เป็นที่นิยม ปัจจุบัน พื้นที่ที่ครอบคลุมด้วยโรงเรือนในจีนมีน้อยกว่า 1% (Costa & Heuvelink, 2004)

ภาพที่ 2.19 : โรงเรือนประเภทต่าง ๆ



ที่มา : Nemali, K. (2022). History of Controlled Environment Horticulture: Greenhouses.

อย่างไรก็ตาม การออกแบบโรงเรือนสมัยใหม่ช่วยให้ผู้ผลิตโรงเรือนในจีนสามารถพัฒนาแบบที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในท้องถิ่นมากขึ้น โครงสร้างที่มีต้นทุนต่ำที่ได้รับความนิยมในจีนคือโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการเคลือบพลาสติก โรงเรือนเหล่านี้มีหลังคาขนาดใหญ่ทางด้านทิศใต้ (ภาพที่ 2.1 B) และได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ในระหว่างวัน ในเวลากลางคืนจะมีการปูผ้าห่มเพื่อเก็บความร้อนภายในโครงสร้าง นอกจากนี้ กำแพงอิฐทางด้านทิศเหนือยังช่วยเก็บความร้อนภายในโครงสร้าง แบบจำลองนี้ประสบความสำเร็จอย่างมากในการเพิ่มการผลิตในโรงเรือนในภูมิภาคทางตอนเหนือที่หนาวเย็นของจีน (Chen, T.Y., Yamaguchi, T. & Kuroyanagi, 2000) ภายในสิ้นศตวรรษที่ 20 พื้นที่ที่ครอบคลุมเกษตรกรรมในโรงเรือนในจีนมีเกือบ 1.4 ล้านเฮกตาร์ (ปัจจุบันประมาณ 2 ล้านเฮกตาร์) โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ (Costa & Heuvelink, 2004)

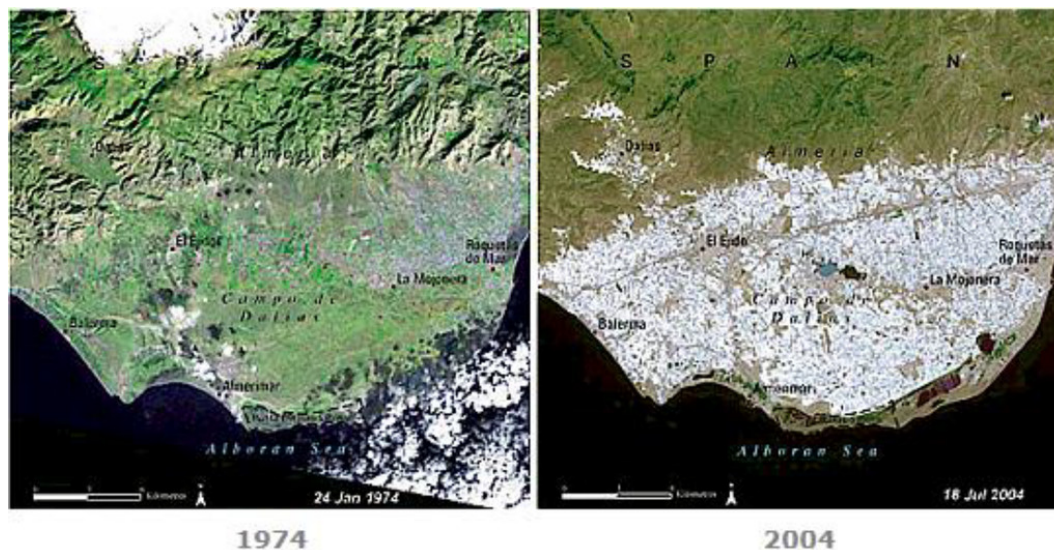
ในช่วงสามทศวรรษที่ผ่านมา อุตสาหกรรมโรงเรือนขนาดใหญ่ได้พัฒนาอย่างรวดเร็วในสเปน ในภูมิภาคที่เรียกว่า Almeria ทางตะวันออกเฉียงใต้ของสเปนตามแนวทะเลเมดิเตอร์เรเนียน มีความเข้มข้นของโรงเรือนมากที่สุด (มากกว่า 26,000 เฮกตาร์) ที่ผลิตพืชผักส่วนใหญ่สำหรับยุโรป เทคนิคต่างๆ เช่น ไฮโดรโปนิคส์ การผลิตพืชโดยไม่ใช้ดิน การคลุมดิน และการชลประทานแบบหยด ทำให้ภูมิภาคนี้พัฒนาเป็นที่อยู่ในปัจจุบัน (ภาพที่ 2.2) ภูมิภาคนี้ยังได้ประโยชน์จากแรงงานจำนวนมากจากประเทศใกล้เคียงในแอฟริกา โรงเรือนแบบ Parral พัฒนาขึ้นในภูมิภาค Almeria ของสเปน (ภาพที่ 2.1 C) โครงสร้างที่มีต้นทุนต่ำเหล่านี้มีหลังคาโค้งที่คลุมด้วยพลาสติกและมีรางน้ำที่ต่ำ หลังคาเกือบแบน และฟิล์มพลาสติกยึดด้วยเส้นลวดโลหะ ฟิล์มสามารถม้วนกลับไปรางน้ำเพื่อระบายอากาศในช่วงฤดูร้อนได้ นอกจากนี้ การระบายอากาศสามารถทำได้จากด้านข้างโดยการม้วนพลาสติกขึ้น ภูมิภาค Almeria ไม่ประสบปัญหาหิมะหรือลมแรง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาแบบที่มีหลังคาพลาสติกและโครงเบาเพื่อลดต้นทุนการก่อสร้าง ฟิล์มพลาสติกช่วยเก็บความร้อนภายในโครงสร้างในช่วงฤดูหนาว ทำให้สามารถผลิตผักได้ในช่วงเดือนที่เย็นลง การวิจัยแสดงให้เห็นว่าพื้นที่โรงเรือนใน Almeria มีขนาดใหญ่มากจนหลังคาสีขาวช่วยลดอุณหภูมิของภูมิภาคนี้ได้โดยการสะท้อนแสงแดดออกไปเป็นจำนวนมาก ค่าการสะท้อนแสง (albedo) ของภูมิภาคนี้เพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี 1983 โดยเพิ่มการสะท้อนแสงแดดขึ้น 9% (ตามการอ่านค่าจากดาวเทียม Terra ของ NASA) (Campra, Garcia, Canton & Palacios-Orueta, 2008) อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมโรงเรือนใน Almeria ได้รับความวิจารย์อย่างมากในช่วงหลายปีที่ผ่านมา การผลิตโรงเรือนอย่างเข้มข้นในภูมิภาค Almeria ถูกวิจารย์จากบางคนว่าทำให้น้ำบาดาลหมดไปและกองลางสติกตามชนบทและทะเล ในขณะที่คนอื่นๆ มองว่าภูมิภาคนี้เป็นปาฏิหาริย์ทางเศรษฐกิจ (Baldock, 2018)

การออกแบบโรงเรือนที่แตกต่างกันได้พัฒนาในประเทศกึ่งแห้งแล้งและเขตร้อน เช่น อินเดีย มาเลเซีย เคนยา และโมร็อกโก (Wageningen, 2018) ภูมิภาคนี้มีความท้าทายที่เกี่ยวข้องกับสภาพ ภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิสูงในเวลากลางวันและกลางคืน ความชื้นสัมพัทธ์ แดด และลมจากมรสุม และไซโคลน การออกแบบโรงเรือนที่นำมาใช้ประกอบด้วยโรงเรือนโพลีเอทิลีนที่มีความสูงปานกลาง ถึงสูง มีหลายช่วง หลังคาโค้งหรือหลังคาโค้งแบบกอธิค เชื่อมต่อด้วยรางน้ำ พร้อมการระบายอากาศ ด้านข้างและหลังคา (ภาพที่ 2.1 D) คุณสมบัติหลักของการออกแบบนี้ที่ช่วยลดอุณหภูมิคือการระบาย อากาศที่เพิ่มขึ้นและตาข่ายบังแดด การระบายอากาศบนหลังคามักเป็นแบบถาวร (คงเปิดอยู่) และ ครอบคลุมด้วยตาข่ายกันแมลง นอกจากนี้ยังมีการใช้แผงกันความร้อนหรือตาข่ายบังแดดเพื่อสะท้อน แสงแดดและลดอุณหภูมิภายในโครงสร้าง โรงเรือนมีการระบายอากาศด้านข้างทั้งสี่ด้าน การ ออกแบบนี้ช่วยป้องกันลมและฝนในช่วงฤดูมรสุม โครงสร้างเหล่านี้ส่วนใหญ่ใช้ในการผลิตพืชสวน ดอกไม้ อย่างไรก็ตาม ในช่วงไม่นานมานี้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในการผลิตมะเขือเทศและพริกหวาน

ในสหรัฐอเมริกา มีการใช้การออกแบบโรงเรือนหลากหลายรูปแบบในการปลูกพืช ซึ่งรวมถึง โรงเรือนหลังคาโค้งกว้างหรือหลังคาจั่วและการออกแบบโรงเรือนแบบ Venlo โรงเรือนส่วนใหญ่ใน ภูมิภาคตอนเหนือของประเทศเป็นแบบหลังคาจั่วและสร้างด้วยโครงสร้างเหล็กชุบสังกะสีและครอบ ด้วยแก้วหรือพลาสติกแข็งเพื่อทนทานต่อหิมะและลม ในภูมิภาคที่อบอุ่นของประเทศสามารถพบเห็น โรงเรือนพลาสติกฟิล์มที่เชื่อมต่อด้วยรางน้ำแบบหลังคาโค้งได้ นอกจากนี้โครงสร้างที่เรียกว่าโรงเรือน โค้งสูง (high tunnels) กำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นในสหรัฐอเมริกา โครงสร้างเหล่านี้แตกต่างจาก โรงเรือนเพราะปลูกพืชโดยตรงในดินที่ครอบด้วยโครงสร้างพลาสติก โรงเรือนโค้งสูงช่วยขยายฤดูกาล การปลูกและสามารถสร้างได้ในราคาเพียงเศษเสี้ยวของโรงเรือน

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้รับการพัฒนาและใช้เพื่อศึกษาผลกระทบของมาตรการ อนุรักษ์พลังงาน ต่างๆ เพื่อให้ได้ชุดคุณลักษณะการออกแบบสำหรับโรงเรือนที่ประหยัดพลังงาน ผล การจำลองระบุว่าภายใต้สภาพอากาศหนาวเย็น ทางตอนเหนือของอินเดีย โรงเรือนรูปทรงโค้งแบบ โกธิคต้องการความร้อนน้อยกว่า 2.6% และ 4.2% เมื่อเปรียบเทียบกับรูปทรงหน้าจั่วและควอนเซ็ต โรงเรือนโค้งแบบโกธิคที่เน้นไปทางทิศตะวันออก-ตะวันตกต้องการความร้อนน้อยกว่า 2% เมื่อเทียบ กับโรงเรือนที่เน้นทิศเหนือ-ใต้ ฉนวนผนังด้านเหนือของโรงเรือนโค้งแบบโกธิคแบบตะวันออกและ ตะวันตกช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำความร้อนได้ 30%

ภาพที่ 2.20 : การเติบโตของอุตสาหกรรมโรงเรือนในภูมิภาคอัลเมริยาของสเปนในช่วง 30 ปี
ระหว่างปี ค.ศ. 1974 ถึง 2004 สีขาวหมายถึงหลังคาโรงเรือน



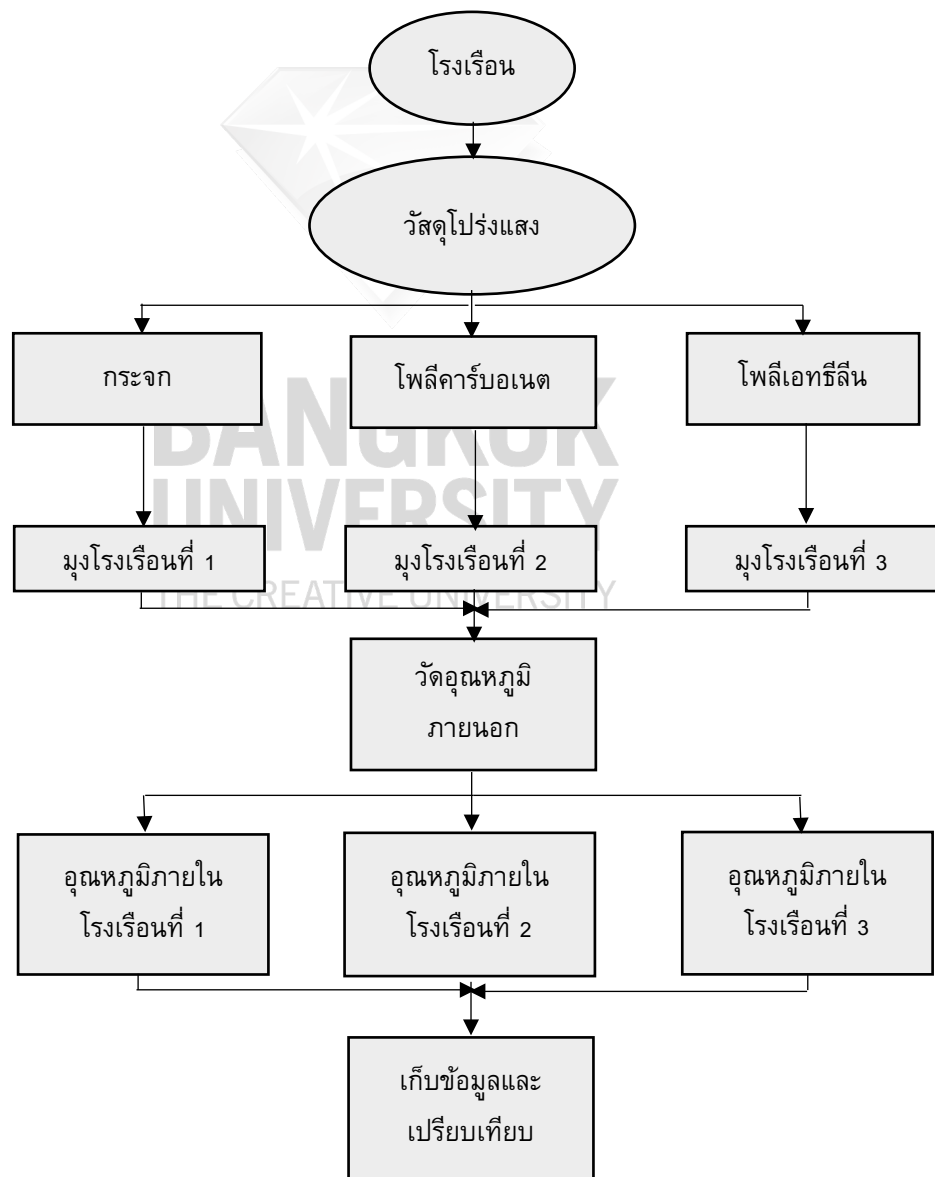
ที่มา : Nemali, K. (2022). History of Controlled Environment Horticulture: Greenhouses.

การใช้ผ้าม่านตอนกลางคืนลดความต้องการทำความร้อนในเวลากลางคืนลง 70.8% และความความร้อนในตอนกลางวันลง 60.6% การเปลี่ยนฝาครอบด้านทิศใต้เป็นกระจกสองชั้นแบบเป่าลม ทำให้ความต้องการความร้อนลดลง 23% การผสมผสานคุณลักษณะการออกแบบสำหรับโรงเรือนที่ประหยัดพลังงานซึ่งเหมาะสมกับสภาพอากาศหนาวเย็น พบว่าสามารถลดความต้องการทำความร้อนในโรงเรือนได้ถึง 80% ระบบจัดเก็บ/ดึงความร้อนจากเตียงหินภายในตอบสนองความต้องการพลังงานความร้อนที่เหลืออยู่ของโรงเรือนแบบอนุรักษ์พลังงาน ในปัจจุบันมีนิยมใช้กันหลายรูปทรงแล้วแต่บริบทและวัตถุประสงค์ (Mathala & Pitam, 2002)

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยศึกษาอิทธิพลวัสดุโปร่งแสงและประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิใน
โรงเรือนเพาะปลูกเป็นการวิจัยเชิงทดลอง

ภาพที่ 3.1 : Conceptual Framework Diagram



กล่าวคือ เป็นการทดลองคุณสมบัติการควบคุมอุณหภูมิความร้อนของวัสดุ โดยเปรียบเทียบวัสดุในสภาพแวดล้อมเดียวกัน เพื่อประเมินคุณสมบัติของการควบคุมอุณหภูมิ การวิจัยครั้งนี้เกี่ยวข้องกับกลุ่มตัวแปรทั้งหมด 3 กลุ่มได้แก่ อุณหภูมิภายนอก ชนิดวัสดุและสภาพแวดล้อม

ขั้นตอนการวิจัยกำหนดขึ้นเพื่อศึกษา 2 ประเด็นหลัก ได้แก่ 1) ประเด็นคุณลักษณะการควบคุมอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูก 2) ประเด็นการเปรียบเทียบโรงเรือนเพาะปลูกกับวัสดุผนังหลังคาชนิดต่าง ๆ กัน ภายใต้การทดลองที่มีการควบคุมตัวแปรสภาพแวดล้อมทางกายภาพ

ทั้งนี้ในส่วนของวิธีการดำเนินการวิจัย สรุปเป็นประเด็นต่าง ๆ ประกอบด้วยขั้นตอนการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือวิจัย การกำหนดตัวแปรชี้วัด และการเชื่อมโยงตัวแปร การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ขั้นตอนการทำวิจัย

ขั้นตอนการทำวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎีงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้รวมถึงรวบรวมข้อมูลจากห้องเรียนหรือพื้นที่การเรียนรู้

1) แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับวัสดุโปร่งแสง โดยเฉพาะที่ใช้กับโรงเรือนเพาะปลูก

2) รวบรวมข้อมูลมาตรฐานของคุณสมบัติของวัสดุโปร่งแสงในแต่ละชนิดที่จะนำมาทดลอง

3.1.2 ขั้นตอนที่ 2 เก็บรวบรวมข้อมูลทางด้านกายภาพของบริเวณที่ใช้เป็นพื้นที่ในการทดลอง โดยใช้โรงเรือนเพาะปลูก 3 โรง ที่พื้นที่บ้านไทยฟาร์ม ดำเนินการภายใต้เงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ เพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะการควบคุมอุณหภูมิของวัสดุที่นำมาทดสอบ

1) ทำการสำรวจเชิงพื้นที่เกี่ยวกับขนาดของโรงเรือนจากข้อมูลหนังสือปลูกผักในโรงเรือนและโรงเรือนที่ทำการเพาะปลูกจริง ณ บ้านไทยฟาร์ม อ.บ้านแพ้ว จ.สมุทรสาคร

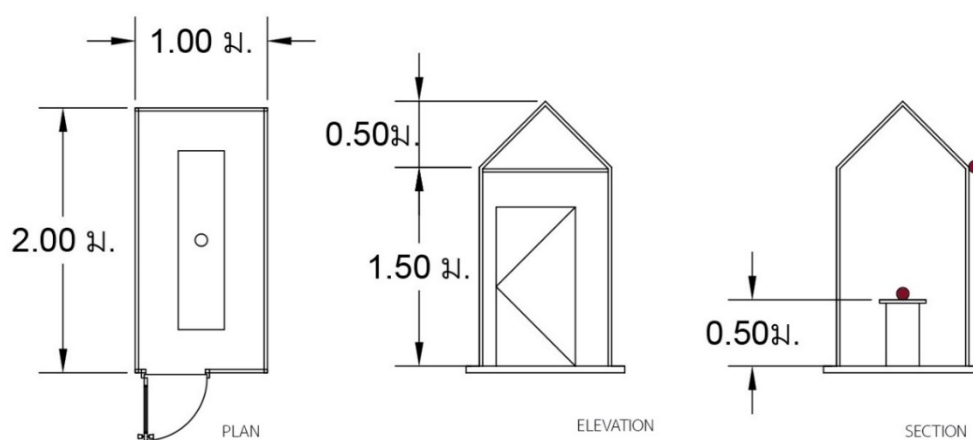
2) เก็บข้อมูลคุณลักษณะทางอุณหภูมิของโรงเรือนภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ (เช่น ความสูง ลักษณะรูปทรง) โดยยังไม่มีดำเนินการกิจกรรม

3) สรุปข้อมูลการสำรวจพื้นที่และเปรียบเทียบคุณลักษณะของโรงเรือน

3.1.3 ขั้นตอนที่ 3 คัดเลือกพื้นที่การสร้างโรงเรือนเพื่อทดสอบวัสดุ 3 โรงเรือน โดยใช้พื้นที่บริเวณที่โล่งลักษณะเดียวกัน โดยแบ่งเป็น โรงเรือนที่ 1 ใช้วัสดุกระจกมุงหลังคา โรงเรือนที่ 2 ใช้วัสดุพลาสติกโพลีเอทิลีน และโรงเรือนที่ 3 ใช้วัสดุโพลีคาร์บอเนต เพื่อทดลองเก็บอุณหภูมิในช่วงเวลาเดียวกัน ตามเงื่อนไขและสภาพแวดล้อมเดียวกันตามลำดับประเมินสภาพแวดล้อมเชิงวัตถุประสงค์ด้วยแบบสำรวจเชิงพื้นที่และเครื่องมือวัดอุณหภูมิและวิเคราะห์อุณหภูมิตามเงื่อนไขและปรับเปลี่ยน

สภาพแวดล้อมที่ได้กำหนดไว้ โดยรูปแบบโรงเรือนจำลองที่ใช้ในการทดลองนั้นได้ทำการย่อขนาดจากโรงเรือนมาตรฐานที่ใช้ในการเพาะปลูกจริงของพื้นที่บ้านไทยฟาร์ม โดยกำหนดรูปแบบหลังคาทรงจั่วให้มีองศาความลาดอยู่ที่ 30 องศา เพื่อให้ได้รูปแบบใกล้เคียงกับโรงเรือนต้นแบบ

ภาพที่ 3.2 : แสดงแปลน รูปด้านและรูปตัดห้องจำลอง



3.1.4 ขั้นตอนที่ 4 เก็บข้อมูลคุณลักษณะของอุณหภูมิของโรงเรือน

1) ประเมินสภาพแวดล้อมของความร้อนด้วยแบบสำรวจเชิงพื้นที่และเครื่องมือวัดระดับอุณหภูมิและวิเคราะห์อุณหภูมิตามเงื่อนไขเปรียบเทียบกับวัสดุที่ได้กำหนดไว้

2) เก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนขณะที่มีการดำเนินกิจกรรมในแต่ละวัสดุ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากภายนอกมาจากอุณหภูมิความร้อนของแสงแดด และใช้วัสดุ 3 ชนิดเป็นการควบคุมตัวแปรอุณหภูมิภายในโรงเรือนเพื่อให้เห็นคุณสมบัติการควบคุมอุณหภูมิของวัสดุแต่ละชนิดจากสภาพแวดล้อมเดียวกัน

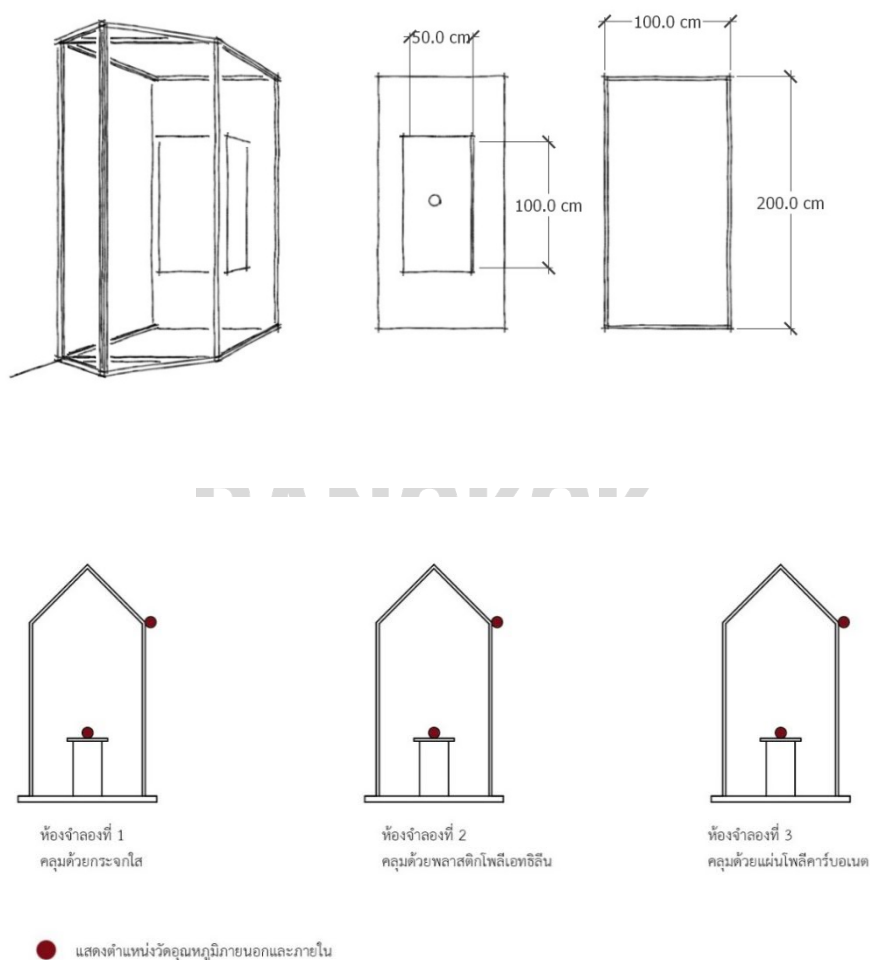
3.1.5 ขั้นตอนที่ 5 สรุปข้อมูลวิเคราะห์และสรุปผลด้วยโปรแกรมทางสถิติตามสมมติฐานเพื่อตอบคำถามของการวิจัยที่ได้กำหนดไว้เพื่อสรุปผลเป็นแนวทางในการใช้วัสดุที่เหมาะสมกับการควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือน

3.2 พื้นที่การศึกษาและชนิดของวัสดุ

การวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษากายในบริเวณพื้นที่ของบ้านไทยฟาร์ม ที่มีการประกอบกิจการเกษตรกรรมเพาะปลูกพืชในโรงเรือน โดยตำแหน่งที่ตั้งมีลักษณะเป็นพื้นที่โล่ง ซึ่งได้รับ

ผลกระทบจากความร้อนของแสงแดดโดยตรง จึงเป็นเหตุผลในการเลือกพื้นที่ของบ้านไทยฟาร์มเพื่อ
ดำเนินการวิจัย

ภาพที่ 3.3 : แสดงลักษณะห้องทดลอง



3.2.1 พื้นที่การศึกษา

พื้นที่การศึกษาคือพื้นที่การทดลองตั้งอยู่ที่ อ. บ้านแพ้ว จ. สมุทรสาคร โดยผังเมือง
ของพื้นที่ กำหนดให้เป็นพื้นที่สีเขียวใช้สำหรับทำการเกษตร และอาชีพหลักของชุมชนคือการทำ
เกษตรกรรม พื้นที่การทดลองบ้านไทยฟาร์มมีพื้นที่เปิดมีขนาดพื้นที่ 5 - 6 ไร่ ทำการทดลองในพื้นที่
เปิดโล่ง ไม่นับรวมพื้นที่ภายในอาคารเพราะไม่สามารถรับความร้อนจากแสงแดดได้เต็มที่

ภาพที่ 3.4 : พื้นที่การศึกษาบ้านไทยฟาร์ม



3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวัด

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือวิจัยที่เป็นเอกสารและ เครื่องมือวิจัยที่เป็นอุปกรณ์

ภาพที่ 3.5 : แผนผังพื้นที่การศึกษาบ้านไทยฟาร์ม



3.3 ขั้นตอนกำหนดรูปแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองบริเวณพื้นที่เปิดโล่งของบ้านไทยฟาร์ม อ.บ้านแพ้ว จ. สมุทรสาคร ผู้วิจัยเก็บข้อมูลจากชุดการทดลองในห้องจำลองขนาด 1.00 x 2.00 x 1.50 เมตร โครงทำด้วยโครงเหล็กและมุงหลังคาด้วยวัสดุต่างชนิดกัน ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นภายนอกและอุณหภูมิภายในกล่องทดลองตั้งแต่วันที่ 31 มีนาคม 2567 – 15 เมษายน พ.ศ. 2567 ทดสอบในสภาวะคล้ายคลึงกันและไม่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ ดังนี้ โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 4 สถานการณ์

3.3.1 ชุดการทดลองที่บริเวณเปิดโล่ง

3.3.2 ชุดการทดลองที่ใช้วัสดุคลุมหลังคาด้วยกระจก ความหนา 10 มิลลิเมตร

3.3.3 ชุดการทดลองที่ใช้วัสดุคลุมหลังคาด้วยโพลีเอทิลีน ความหนา 0.02 มิลลิเมตร

3.3.4 ชุดการทดลองที่ใช้วัสดุคลุมหลังคาด้วยโพลีคาร์บอเนต ความหนา 10 มิลลิเมตร

3.4. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือวิจัยที่เป็นเอกสารและเครื่องมือวิจัยที่เป็นอุปกรณ์

3.4.1 แบบสังเกตการณ์

จากวัตถุประสงค์และขั้นตอนของการวิจัยที่ต้องการศึกษาคุณลักษณะการควบคุมอุณหภูมิของวัสดุจึงต้องมีเครื่องมือวิจัยเพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นแบบจดบันทึก แบบจดบันทึก (Survey Form) ใช้ในขั้นตอนการจดบันทึกข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าดัชนีต่างๆ ตามปัจจัยและเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้เป็นการประเมินเชิงวัตถุวิสัยข้อมูลจากการจดบันทึกเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์เพื่อนำไปวิเคราะห์และศึกษาคุณลักษณะการลดอุณหภูมิของวัสดุ

ภาพที่ 3.6 : พื้นที่การศึกษาส่วนบริเวณที่โล่งของบ้านไทยฟาร์ม



ภาพที่ 3.7 : ตำแหน่งที่ตั้งโรงเรือนทั้ง 3 บริเวณที่โล่งของบ้านไทยฟาร์ม



3.4.2 เครื่องมือวิจัยที่เป็นอุปกรณ์

ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้อุปกรณ์ Netatmo Urban Weather Station ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ตรวจจับสภาพอากาศ 2 ชั้น เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิ, ความชื้น, ความกดอากาศ, เครื่องตรวจวัดแล้วให้เราจดบันทึกข้อมูล

3.4.3 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือวิจัย

เครื่องมือแบบจดบันทึก เพื่อทำการสำรวจรายละเอียดพื้นฐานเกี่ยวกับการบันทึก เช่น วัน เวลาในการบันทึก แบ่งเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 ขนาด กว้าง ยาว สูง ของห้องทดลอง และชนิดของวัสดุคลุมหลังคา

ส่วนที่ 2 อุณหภูมิภายนอก และ อุณหภูมิภายในห้องทดลอง

3.4.4 การกำหนดตัวแปร

ตัวแปรที่ทำการเก็บข้อมูล มีดังนี้

3.4.4.1 อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร (Outside Air Temperature)

3.4.4.2 อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (Inside Air Temperature)

3.4.4.3 ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาคาร (Outside Relative Humidity)

3.4.4.4 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคาร (Inside Relative Humidity)

ตารางที่ 3.1 : ตัวแปรควบคุมในการทดลอง

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม
วัสดุโปร่งแสง 1. กระดาษ 2. โพลีคาร์บอเนต 3. พลาสติกโพลีเอทิลีน	1. อุณหภูมิภายในโรงเรือน 2. ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน	1. อุณหภูมิภายนอก 2. ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก 3. โรงเรือนจำลองขนาด 2.0 x 1.0 x 1.5 เมตร 4. สถานที่ทดลองและวันเวลาเดียวกัน

ภาพที่ 3.8 : เครื่องมือวัดอุณหภูมิ Netatmo Urban Weather Station สามารถวัดค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น สำหรับการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช



3.4.5 การจำลองสถานการณ์ในการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นภายนอกและอุณหภูมิภายในห้องทดลองตั้งแต่วันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2567 – 15 เมษายน พ.ศ. 2567 โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 4 สถานการณ์ (Scenario) ทดสอบในสภาวะคล้ายคลึงกัน ดังนี้

ตารางที่ 3.2 : การแบ่งจำแนกสถานการณ์และชนิดของวัสดุในการทดสอบ

สถานการณ์ (Scenario)	ชนิดวัสดุในการทดสอบ
สถานการณ์ที่ 1	พื้นที่เปิดโล่ง
สถานการณ์ที่ 2	ใช้วัสดุคลุมหลังคาด้วยกระจก
สถานการณ์ที่ 3	ใช้วัสดุคลุมหลังคาด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีน
สถานการณ์ที่ 4	ใช้วัสดุคลุมหลังคาด้วยโพลีคาร์บอเนต

ภาพที่ 3.9 : โรงเรือนจำลองทั้ง 3 หลังที่คลุมด้วยวัสดุต่างชนิดกันบริเวณที่โล่งของบ้านไทยฟาร์ม



บทที่ 4 อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิของวัสดุโปร่งแสง โดยมุ่งเน้นความสำคัญไปที่ประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิความร้อนของวัสดุโปร่งแสงที่นำมาวางหลังคาโรงเรือนเพาะปลูกเพื่อประโยชน์ในการเลือกใช้วัสดุโปร่งแสงที่เหมาะสม โดยอ้างอิงมาตรฐานโรงเรือนเพาะปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ในปัจจุบัน ซึ่งแสงคือความสำคัญทางธรรมชาติ เพราะพืชใช้แสงในการสังเคราะห์และยังเป็นตัวกระตุ้นพื้นฐานของการเจริญเติบโตรวมทั้งอุณหภูมิมีผลโดยตรงกับการดูดน้ำและธาตุอาหาร การหายใจ การคายน้ำ และกิจกรรมของเอนไซม์ต่าง ๆ สรุปได้ว่าอัตราการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิโดยตรง โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 15 – 40 องศาเซลเซียส ดังนั้นวัสดุโปร่งแสงนั้นมีหน้าที่หลักทั้งในด้านอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนและนำแสงแดดเข้ามาให้พืชได้ใช้เป็นปัจจัยในการเจริญเติบโต การศึกษาวัสดุโปร่งแสงนี้เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการควบคุมอุณหภูมิและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโรงเรือนที่สมเหตุสมผลที่สุด งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองเป็น 4 สถานการณ์เพื่อทำการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในแต่ละการทดลองเพื่อเปรียบเทียบ โดยกำหนดหัวข้อในการเปรียบเทียบดังนี้

1. เปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอก
2. เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในโมเดลในแต่ละชุดการทดลองทั้ง 3 วัสดุ
3. เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาคารในแต่ละชุดการทดลอง
4. เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารในแต่ละชุดการทดลอง

ข้อจำกัดของระยะเวลาในการวิจัย

การวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากชุดการทดลองทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง โดยแต่ละชุดการทดลองทำการเก็บข้อมูล ชุดละ 3 วัน โดยตัวแปร วัน เวลา สถานที่เดียวกัน เริ่มทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2567 – 9 เมษายน พ.ศ. 2567 ดังนั้นผลการวิจัยที่ได้จึงเป็นข้อมูลเฉพาะช่วงเวลาดังกล่าวเท่านั้นไม่ครอบคลุมตลอดทั้งปี

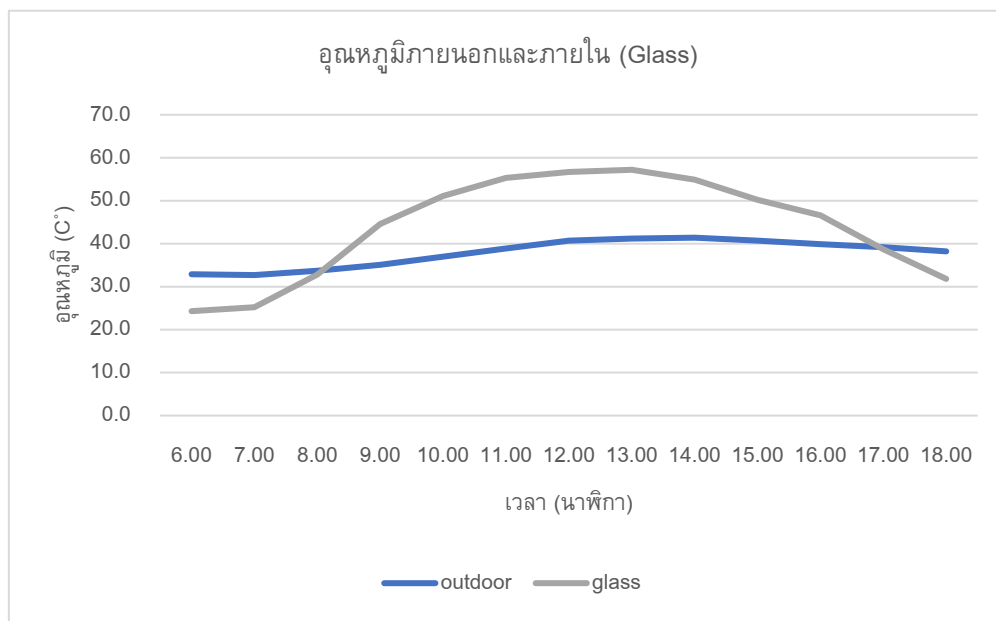
ข้อจำกัดในการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองลักษณะของโรงเรือนเพาะปลูกให้มีลักษณะที่ย่อเล็กลงมา ขนาดพื้นที่ที่เล็กลงมานั้น เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่ออุณหภูมิและความชื้น

4.1 ผลการศึกษาและอภิปรายผล

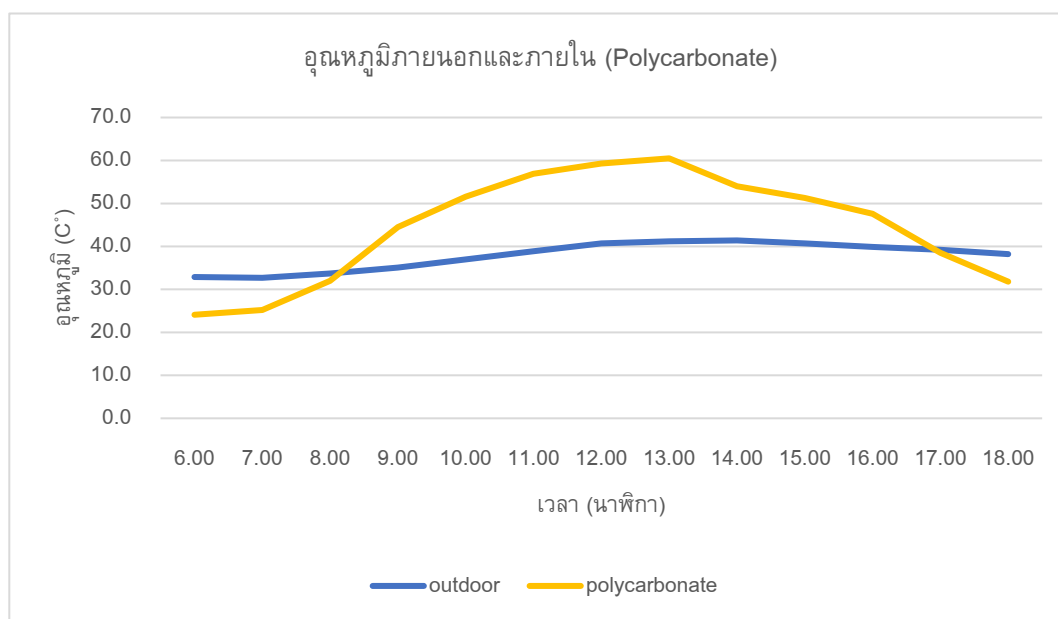
4.1.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในและภายนอก

ภาพที่ 4.1 : กราฟแสดงอุณหภูมิแบบจำลองโรงเรือนที่ใช้วัสดุกระจก (Glass) เป็นวัสดุคลุมหลังคา



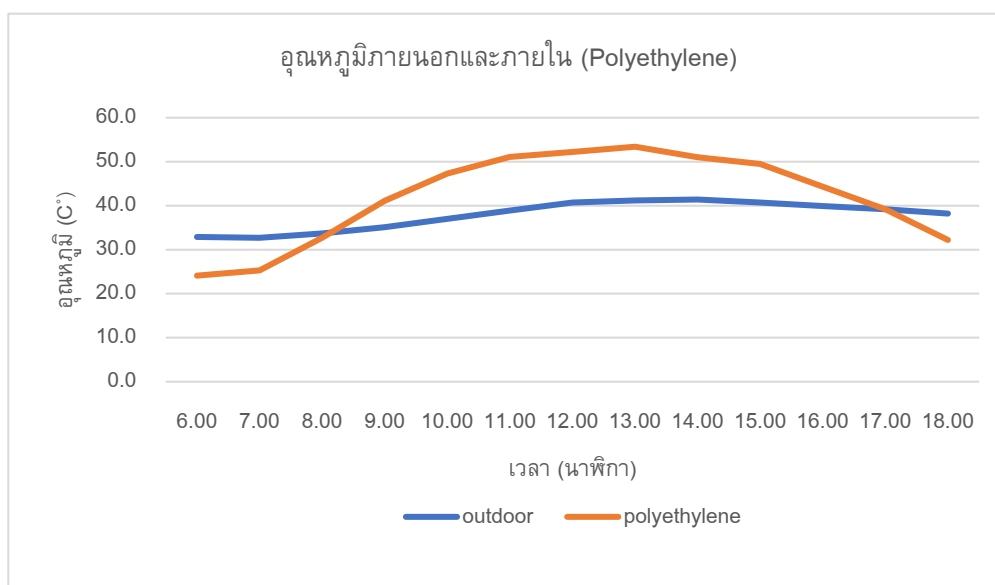
จากการทดลองในห้องทดลอง ณ เวลา 13.00 นาฬิกา ภายในโมเดลมีอุณหภูมิที่ 57.2 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 64 % และภายนอกมีอุณหภูมิที่ 41.2 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิต่างกันอยู่ที่ 16 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.2 : กราฟแสดงอุณหภูมิแบบจำลองโรงเรือนที่ใช้วัสดุโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) เป็นวัสดุคลุมหลังคา



จากการทดลองในห้องทดลอง ณ เวลา 13.00 นาฬิกา ภายในโมเดลมีอุณหภูมิที่ 60.5 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 55 % และภายนอกมีอุณหภูมิที่ 41.2 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิต่างกันอยู่ที่ 19.3 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.3 : กราฟแสดงอุณหภูมิแบบจำลองโรงเรือนที่ใช้วัสดุพลาสติกโพลีเอทิลีน (Polyethylene) เป็นวัสดุคลุมหลังคา



จากการทดลองในห้องทดลอง ณ เวลา 13.00 นาฬิกา ภายในโมเดลมีอุณหภูมิที่ 53.4 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 70 % และภายนอกมีอุณหภูมิที่ 41.2 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิต่างกันอยู่ที่ 12.2 องศาเซลเซียส

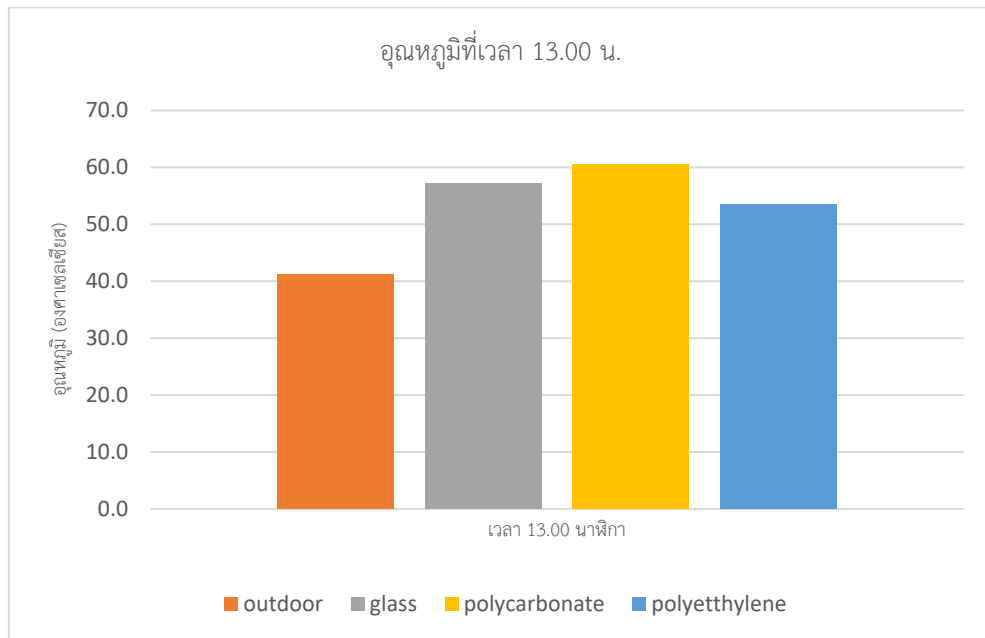
4.2 การประมวลผลค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายนอกและภายในโรงเรือนจำลองทั้ง 3 ประเภท

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต คือ ค่าของผลรวมของค่าสังเกตของข้อมูลทั้งหมดหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด เรียกสั้นๆ ว่า ค่าเฉลี่ย นิยามของค่าเฉลี่ยเลขคณิต คือ ผลรวมของค่าสังเกตหรือค่าของตัวอย่างที่ได้จากการสำรวจทุกค่าของข้อมูล แล้วหารด้วยจำนวนตัวอย่างของข้อมูล

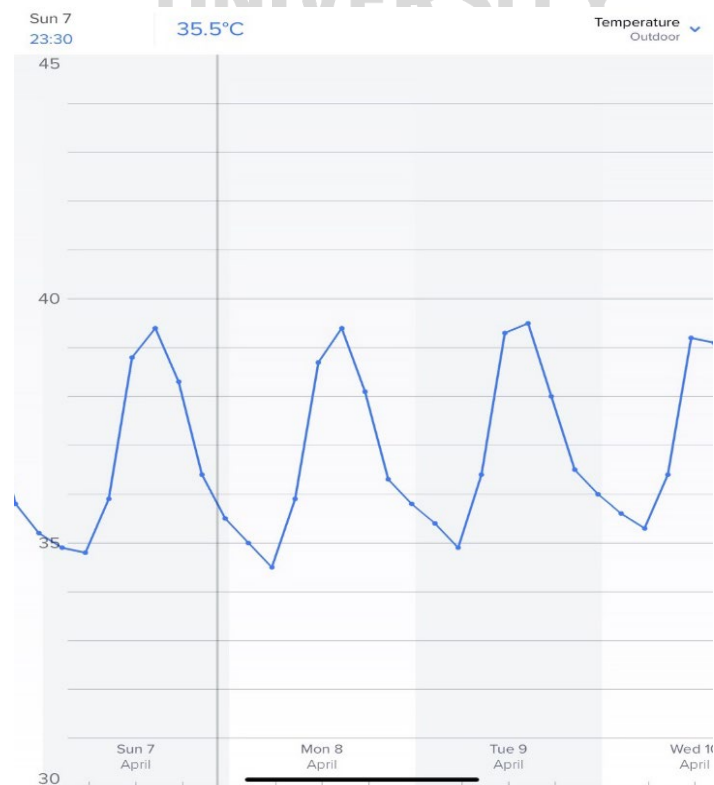
สูตรการคำนวณหาค่าเฉลี่ย (\bar{x})

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

ภาพที่ 4.4 : กราฟแสดงอุณหภูมิภายนอกและภายในแบบจำลองโรงเรือนทั้ง 3 ชนิด เวลา 13.00 นาฬิกา



ภาพที่ 4.5 : กราฟแสดงอุณหภูมิภายนอกในวันที่ 7 – 9 เมษายน พ.ศ. 2567



ภาพที่ 4.6 : กราฟแสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือนจำลองที่มุงหลังคาด้วยกระฉก ในวันที่ 7 – 9 เมษายน พ.ศ. 2567



ภาพที่ 4.7 : กราฟแสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือนจำลองที่มุงหลังคาด้วยโพลีคาร์บอเนต ในวันที่ 7 – 9 เมษายน 2567



ภาพที่ 4.8 : กราฟแสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือนจำลองที่มุงหลังคาด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีน
ในวันที่ 7 – 9 เมษายน พ.ศ. 2567

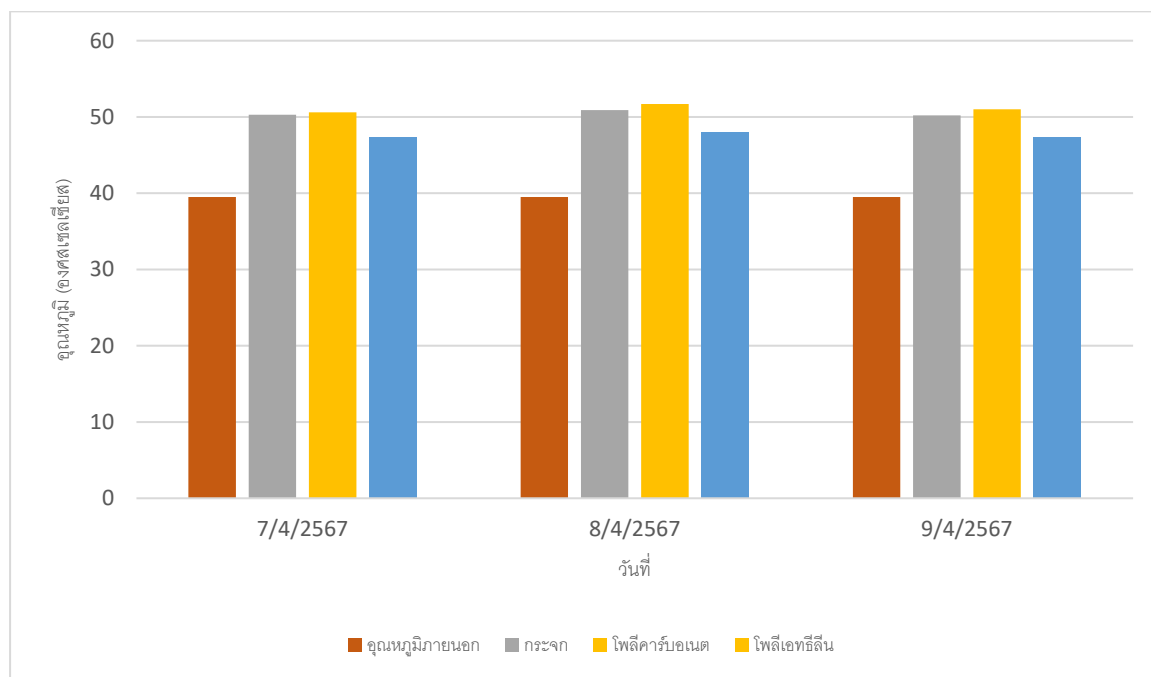


ตารางที่ 4.1 : อุณหภูมิภายนอกและภายในโรงเรือนจำลองทั้ง 3 ที่เวลา 13.15 นาฬิกา
ตั้งแต่วันที่ 7 – 9 เมษายน พ.ศ. 2567 มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

วันที่	อุณหภูมิภายนอก	กระจก	โพลีคาร์บอเนต	พลาสติกโพลีเอทิลีน
7 เมษายน 67	39.5	50.3	50.6	47.3
8 เมษายน 67	39.5	50.9	51.7	48.0
9 เมษายน 67	39.6	50.2	51.0	47.3

จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าอุณหภูมิภายนอกมีค่าเฉลี่ยที่ 39.5 องศาเซลเซียส กระจกมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 50.46 องศาเซลเซียส พลาสติกโพลีเอทิลีนมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 47.53 องศาเซลเซียส และโพลีคาร์บอเนตมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 51.10 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.9 : กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอกและภายในห้องทดลองทั้ง 4 สถานการณ์
ของวันที่ 7 – 9 เมษายน พ.ศ. 2567



4.3 ความคุ้มค่าของวัสดุโปร่งแสงประเภทต่าง ๆ

โรงเรือนหลังคาจั่วจะเป็นรูปทรงหลังคาที่นิยมทั่วไปมีความแข็งแรงทนทานและชนิดของวัสดุโปร่งแสงที่มุ่งโรงเรือนคือ กระฉก พลาสติกโพลีเอทรีลีนและโพลีคาร์บอเนต โดยมีโครงสร้างโรงเรือนกระฉกจากเหล็กขนาด กว้าง x ยาว x สูง = 6.0 x 30.0 x 2.5 เมตร มีการประเมินวัสดุที่ใช้ในการทำโรงเรือนออกมา คือ เหล็กกลมดำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ นิ้ว ความยาวท่อนละ 6 เมตร จำนวน 47 ท่อน และเหล็กกลมดำเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ความยาวท่อนละ 6 เมตร จำนวน 44 ท่อน โดยด้านข้างโรงเรือนคลุมด้วยมุ้งไนลอนที่มีหน้ากว้าง 2.50 เมตร ความยาว 50 เมตร จำนวน 1 ม้วน (อภิชาติ ศรีสะอาด และ พัชรี สำโรงเย็น, 2559) ได้ทำการประเมินราคาค่าวัสดุในปัจจุบัน (กรกฎาคม 2567) จะเห็นได้ว่าต้นทุนในส่วนของโครงสร้างจะต้องใช้งบประมาณในการซื้อวัสดุคือ เหล็กกลมดำ $\frac{3}{4}$ นิ้ว ราคาท่อนละ 170 บาท เหล็กกลมดำ 1 นิ้ว ราคาท่อนละ 200 บาท และมุ้งไนลอนราคา 2,900 บาทต่อม้วน ราคาวัสดุทำโรงเรือนโดยที่ยังไม่มีวัสดุโปร่งแสงมุ่งหลังคาอยู่ที่ประมาณ 19,690 บาท โคนพื้นที่หลังคามีพื้นที่ 420 ตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบราคาของวัสดุโปร่งแสงทั้ง 3 ชนิด จะพบว่าวัสดุพลาสติกโพลีเอทรีลีนมีความคุ้มค่ามากที่สุด

ตารางที่ 4.2 : เปรียบเทียบความคุ้มค่าของวัสดุโปร่งแสงชนิดต่าง ๆ ที่นำมาสร้างเป็นโรงเรือนจำลอง

สถานการณ์ (Scenario)	ชนิดวัสดุ	ราคาวัสดุก่อสร้าง (บาท)		อายุการใช้งาน (ปี)	ประสิทธิภาพ การลดอุณหภูมิ
		โครงสร้าง	วัสดุ		
สถานการณ์ที่ 1	กระจก	720	3,440	>10	ปานกลาง
สถานการณ์ที่ 2	โพลีคาร์บอเนต	720	3,800	7-10	น้อยที่สุด
สถานการณ์ที่ 3	พลาสติกโพลีเอทิลีน	720	180	3-5	มากที่สุด

ตารางที่ 4.3 : เปรียบเทียบความคุ้มค่าของวัสดุโปร่งแสงชนิดต่าง ๆ ที่นำมาสร้างเป็นโรงเรือน

สถานการณ์ (Scenario)	ชนิดวัสดุ	ราคาวัสดุก่อสร้าง (บาท)		อายุการใช้งาน (ปี)	ประสิทธิภาพ การลดอุณหภูมิ
		โครงสร้าง	วัสดุ		
สถานการณ์ที่ 1	กระจก	19,690	357,000	>10	ปานกลาง
สถานการณ์ที่ 2	โพลีคาร์บอเนต	19,690	399,000	7-10	น้อยที่สุด
สถานการณ์ที่ 3	พลาสติกโพลีเอทิลีน	19,690	21,000	3-5	มากที่สุด

จากตารางที่ 4.2 ซึ่งเป็นราคาต้นทุนการก่อสร้างของโมเดลจำลองโรงเรือนเพาะปลูกที่มีขนาดกว้าง 1.0 เมตร ยาว 2.0 เมตร สูง 1.5 เมตร และระดับจั่วหลังคาสูงรวม 2.0 เมตร และตารางที่ 4.3 จะพบว่าวัสดุพลาสติกโพลีเอทิลีนมีความคุ้มค่าในวัสดุทั้ง 3 ประเภท รวมถึงมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิได้ดีที่สุดด้วยโดยอ้างอิงได้จากตารางที่ 4.1

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุโปร่งแสงที่นำมาใช้เป็นวัสดุผนังหลังคาโรงเรือนทั้ง 3 ชนิด โดยมุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิความร้อนภายในโรงเรือนเพาะปลูกเพื่อประโยชน์ในการเป็นทางเลือกแก่เกษตรกรในการเลือกใช้วัสดุโปร่งแสงในการก่อสร้างโรงเรือนอย่างสมเหตุสมผลเพื่อตัดสินใจในการลงทุนในการก่อสร้างโรงเรือน เพราะภายในโรงเรือนที่มีอุณหภูมิสูงมากเกินไปนั้นจะส่งผลเสียต่อผลผลิตและจะต้องนำไปสู่กระบวนการใช้พลังงานไฟฟ้าในการระบายและปรับอุณหภูมิให้เหมาะสม การเลือกใช้วัสดุโปร่งแสงที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิที่ดีกว่าก็เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการช่วยลดพลังงานรวมไปถึงช่วยลดต้นทุนของเกษตรกร

5.2 งานวิจัยในอดีต

มาราเวียส (Maraveas, 2019) ได้ทำการวิจัยสำรวจความยั่งยืนทางนิเวศวิทยาของวัสดุที่ใช้ในกรู/ปิดคลุมโรงเรือน โดยเน้นคุณสมบัติทางรังสีและกายภาพ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน การดูดกลืนรังสี ความสามารถในการสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีอินฟราเรด และความสามารถในการส่งผ่านรังสี คุณสมบัติเหล่านี้กำหนดความสามารถในการเลือกแสงและความสามารถของวัสดุในการกรองรังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีอินฟราเรดเพื่อให้ได้ผลการระบายความร้อนที่ต้องการ การป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต - บี (Ultraviolet-B, UV-B) เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากระดับรังสีในช่วง 280 นาโนเมตรถึง 315 นาโนเมตรทำลายพืชและยับยั้งการสังเคราะห์แสงโดยกระตุ้นให้เกิดความเครียดและการตอบสนองทางการสังเคราะห์แสง ในทางกลับกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต - เอ (Ultraviolet-A, UV-A) ไม่ส่งผลกระทบต่อพืชมากนักและมีความสำคัญน้อยในการเลือกวัสดุกรูโรงเรือน

การเลือกวัสดุสำหรับโรงเรือนยังพิจารณาตามฤดูกาล เนื่องจากฤดูกาลกำหนดความต้องการพลังงานและความร้อนที่แตกต่างกันในฤดูร้อน (ทางตอนใต้) และฤดูหนาว (ทางตอนเหนือ) โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสูงเหมาะสำหรับการสร้างวัสดุโรงเรือนในฤดูหนาว เนื่องจากไม่กรองรังสีที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงในทางกลับกัน วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ปริมาณของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงสูงไม่เหมาะในช่วงฤดูร้อนเนื่องจากมีความเสี่ยงต่อการเกิดความร้อนสูงเกินและต้องการการระบายความร้อนทางเลือกเช่นการระเหย

วัสดุหลักที่ใช้ในการมุงโรงเรือนได้แก่ แก้ว, พลาสติก (แผ่นและฟิล์ม), พลาสติกเสริมไฟเบอร์กลาส, กระจกที่ย่อยสลายได้ (สังเคราะห์จากถ่านหินที่ย่อยสลายหรือฟางพืช), ฝ้าบังแดด, โพลีคาร์บอเนตและกระจก เป็นวัสดุมุงโรงเรือนที่นิยมใช้เนื่องจากสามารถส่งผ่านปริมาณของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้สูง และสะท้อนคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด (Near infrared, NIR) ได้ ทำให้สมดุลพลังงานเรือนกระจกลดลง ในทางกลับกัน แผ่นและฟิล์มพลาสติกสามารถส่งผ่านคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดได้สูงกว่า โดยทั่วไปแล้ว วัสดุพลาสติกจะให้การป้องกันรังสีอินฟราเรดในเวลากลางคืนได้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกระจก ดังนั้น โครงสร้างกระจกจึงเหมาะสมสำหรับพืชที่ไวต่อรังสีอินฟราเรดข้อเสียคือ แม้ว่าไฟเบอร์กลาสจะมีคุณสมบัติทางกลที่เหมาะสม แต่ก็มีคุณสมบัติทางแสงที่ไม่พึงประสงค์น้อยที่สุด เช่น การส่งผ่านแสงน้อยที่สุด

5.3 สรุปผลการวิจัยและอภิปราย

จากการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติในประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิของวัสดุโปร่งแสงทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กระจก พลาสติกโพลีเอทิลีนและแผ่นใสโพลีคาร์บอเนต ในเงื่อนไข วัน เวลา และสถานที่เดียวกัน พบว่า อุณหภูมิภายในห้องทดลองมีความร้อนมากกว่าอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง จากการทดลองวัดอุณหภูมิในห้องทดลองทั้ง 4 สถานการณ์ พบว่าวัสดุพลาสติกโพลีเอทิลีนสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนจำลองได้ดีที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 47.53 องศาเซลเซียส โดยมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ 71 %เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุกระจกที่ประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 50.46 องศาเซลเซียส และวัสดุโพลีคาร์บอเนตที่มีประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนทดลอง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 51.10 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิภายนอกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 39.5 องศาเซลเซียสผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงความต่างของคุณสมบัติของประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิของวัสดุโปร่งแสงทั้ง 3 ชนิด และนำมาซึ่งเป็นแนวทางการเลือกใช้วัสดุโปร่งแสงที่จะนำมาใช้ในการทำหลังคาโรงเรือน

จากการเปรียบเทียบราคาก่อสร้าง สามารถนำมาซึ่งเป็นแนวทางการเลือกใช้วัสดุโปร่งแสงที่จะนำมาใช้ในการทำหลังคาโรงเรือน จะพบว่าวัสดุพลาสติกโพลีเอทิลีนมีความคุ้มค่าที่สุดในวัสดุทั้ง 3 ประเภท รวมถึงมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิได้ดีที่สุดด้วย แต่จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกทั้ง 3 สถานการณ์ ทั้งนี้เนื่องมาจากได้ทำการทดลองในโรงเรือนที่ได้สร้างจำลองขึ้นมา เนื่องจากการทดลองนี้จำลองยูนิตขนาดเล็ก จึงมีการสะสมความร้อนมากกว่าระบบปิด ควรทดลองขนาดโรงเรือนจริงมาตรฐานอีกครั้ง ด้วยขนาดของโรงเรือนที่ใช้ในการเพาะปลูกจริง

5.4 ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

ผลการทดลองจากการวิจัยนี้สรุปได้ว่าพลาสติกโพลีเอทิลีนมีประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิความร้อนได้ดีที่สุด แต่ทั้งนี้ตัววัสดุเองมีคุณสมบัติในด้านความทนทานและอายุการใช้งานได้น้อยที่สุดเช่นเดียวกัน โดยมีค่าเฉลี่ยอายุการใช้งานอยู่ที่ 3 - 5 ปี เปรียบเทียบกับกระจกที่มีอายุการใช้งานเฉลี่ยอยู่ที่มากกว่า 10 ปี และโพลีคาร์บอเนตที่มีอายุใช้งานเฉลี่ยอยู่ที่ 5 - 7 ปีนั้น จะพบว่าในการเลือกวัสดุโปร่งแสงเพื่อมุงหลังคาโรงเรือนนั้นจะมีข้อจำกัดและมีต้นทุนเพิ่มขึ้นมาสำหรับเกษตรกร แต่ถึงกระนั้นกระจกมีราคาต้นทุนที่สูงกว่าในการก่อสร้างครั้งแรก โดยที่โพลีคาร์บอเนตและพลาสติกโพลีเอทิลีนจะใช้ต้นทุนที่น้อยกว่าลงมาตามลำดับโดยคิดเฉพาะราคาต้นทุนของตัววัสดุโปร่งแสงเอง รวมถึงน้ำหนักของวัสดุโปร่งแสงก็ต้องคำนึงถึงความยากง่ายในขั้นตอนการก่อสร้าง โดยกระจกที่มีน้ำหนักมากที่สุดมีผลต่อการสิ้นเปลืองของโครงสร้างของโครงหลังคา รวมไปถึงอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการติดตั้งแตกต่างจากวัสดุโปร่งแสงที่มีน้ำหนักเบาลงมาอย่างผ่านโพลีคาร์บอเนตและพลาสติกโพลีเอทิลีน

บรรณานุกรม

- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2551). *เอกสารวิชาการ ความผันแปรและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย และการคาดการณ์ในอนาคต*. สืบค้นจาก https://tmd-dev.azurewebsites.net/media/PDF/climate_future.pdf.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. (ม.ป.ป.). *คุณลักษณะของอาคาร (Building features)*. ศูนย์แสดงเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงาน ภาคอาคารธุรกิจ, (หน้า 6-15).
- กวิณนาถ บัวเรือง และ พชร มงคลสุข. (2559). *โรคพืชวิทยา*. สืบค้นจาก <http://old-book.ru.ac.th/e-book/b/BO354/bo354-9.pdf>.
- ณัฐวุฒิ ดุษฎี และ พิสุทธิ์ กลิ่นขจร. (2551). *การประหยัดพลังงานระบบ EVAPORATIVE COOLING ของโรงเรือนกระจกโดยใช้ CHILLED WATER NIGHT COOLING*. สืบค้นจาก http://webpac.library.mju.ac.th:8080/mm/fulltext/research/2557/natthawud_dussadee_2551/fulltext.pdf.
- สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน. (2562). *คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญ (อาคาร) พ.ศ. 2562*. สืบค้นจาก <https://enhrd.dede.go.th/wp-content/uploads/2020/06/เล่ม-3.pdf>.
- อัมพา คำวงษา. (2553). *แนวทางการผลิตและลงทุนผักไฮโดรโปนิคส์เพื่อทำเงิน (พิมพ์ครั้งที่ 1)*. กรุงเทพฯ: นาคา อินเตอร์มีเดีย.
- อภิชาติ ศรีสะอาด และ พัชรี สำโรงเย็น. (2559). *แบบอย่างและแนวทางการปลูกผักในโรงเรือน ต้นทุนต่ำ 5 ภาค (พิมพ์ครั้งที่ 1)*. กรุงเทพฯ: นาคา อินเตอร์มีเดีย.
- Arminda, W. & Kamaruddin, M. (2021). Heat transfer through building envelope materials and their effect on indoor air temperatures in tropics. *Journal of Science and Applicative Technology*, 403-404.
- Baeza, E. & López, J.C. (2012). *Light transmission through greenhouse covers*. *Acta Hort.* 956, 425-440 Retrieved from https://www.actahort.org/books/956/956_50.htm.
- Baldock, K (2018) *Reimagining Almeria's plastic sea of greenhouses*. Retrieved from <https://vertical-farming.net/blog/2018/04/02/reimagining-almerias-agriculture/>.

- Blom, T.J. & Ingrate, F.J. (1985). *The use of polyethylene film as greenhouse glazing in North America*. Retrieved from https://www.actahort.org/books/170/170_7.htm.
- Campra, P., Garcia, M., Canton, Y. & Palacios-Orueta, A. (2008) Surface temperature cooling trends and negative radiative forcing due to land use change toward greenhouse farming in southeastern Spain, *JGR Atmospheres*. Retrieved from <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2008JD009912>.
- Chen, T.Y., Yamaguchi, T. & Kuroyanagi. (2000). *Energy saving sun light greenhouse in China*. Retrieved from <https://edepot.wur.nl/331170>.
- Chitose, K., Séverine, L., Hornitschek, P. & Fankhauser, C. (2010). Chapter Two - Light-Regulated Plant Growth and Development, *Current Topics in Developmental Biology Volume 91*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0070215310910028>.
- Costa, J.M. & Heuvelink, E. (2004). *China's greenhouse horticulture: an overview*. Retrieved from <https://agris.fao.org/search/en/providers/122575/records/64735793e17b74d2225049d2>.
- De Decker, K. (2016) *Fruit walls: Urban farming in 2016*. Retrieved from <https://www.resilience.org/stories/2016-01-06/fruit-walls-urban-farming-in-the-1600s/>.
- Eric Berkers & Frank W. Geels. (2011). *System innovation through stepwise reconfiguration: the case of technological transitions in Dutch greenhouse horticulture (1930–1980)*. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537325.2011.550392>.
- Espi, E., Salmeron, A., Fontecha, A., Garcia, Y. & Real, A.I. (2006). Plastic films for agricultural applications *J. Plast. Film Sheeting*. Retrieved from <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/8756087906064220>.
- Forbes, D.L. (1992). Glazing system, particularly for greenhouses. Retrieved from <https://patents.google.com/patent/US5140768A/en/>.

- Giacomelli, G.A. & Roberts, W.J. (1993). Greenhouse covering systems. *HortTechnology*. Retrieved from <https://journals.ashs.org/horttech/view/journals/horttech/3/1/article-p50.xml>.
- Giuliano Vox, Meir Teitel, Alberto Pardossi, Andrea Minuto, Federico Tinivella & Evelia Schettini. (2010). *Sustainable greenhouse systems* Retrieved from www.767corp.com/uploads/1/1/9/2/11924769/sustainable_greenhouse_systems.pdf.
- Jagger, A. (2008). *Polyethylene discovered by accident 75 years ago*. Retrieved from <https://www.icis.com/explore/resources/news/2008/05/12/9122447/polyethylene-discovered-by-accident-75-years-ago/>.
- Li Yang, Feng Qian, De-Xuan Song, & Ke-Jia Zheng. (2016). Research on Urban Heat-island Effect. *Procedia Engineering* 169.
- Lund, J.W. (2018) *Geothermal energy Encyclopedia Britannica* Retrieved from <https://www.britannica.com/science/geothermal-energy>.
- Mathala J Gupta & Pitam Chandra. (2002). *Effect of greenhouse design parameters on conservation of energy for greenhouse environmental control Journal of energy, 777-794*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544202000300>.
- Maraveas, C. (2019). *Environmental Sustainability of Greenhouse Covering Materials*. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su11216129>.
- Nemali, K. (2021). *Temperature Control in Greenhouses (HO-327-W)*. Retrieved from <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/HO/HO-327-W.pdf>.
- Nemali, K. (2022). *History of Controlled Environment Horticulture: Greenhouses*. Retrieved from <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci /57/2/article-p239.xml#B7>.
- Noureddine Choab, Amine Allouhi, Anas El Maakoul, Tarik Kousksou, Said Saadeddine & Abdelmajid Jamil. (2019). *Review on greenhouse microclimate and application: Design parameters, thermal modeling and simulation, climate*

- controlling technologies Journal of solar energy*, 109-137. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X19308205>
- Papadakis, G., Briassoulis, D., Scaracia Mugnozza, G., Vox, G., Feuilleley, P. & Stoffers, J.A. (2000). Radiometric and thermal properties of, testing methods for greenhouse covering materials *J. Agr. Eng. Res.* Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021863400905250?via%3Dihub>.
- Parker, D. E. (2010). Urban heat island effects on estimates of observed climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 123-124. Retrieved from *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*.
- Sabir, N. & Singh, B. (2013). Protected cultivation of vegetables in global arena: A review *Indian J. Agr. Sci.* Retrieved from <https://epubs.icar.org.in/index.php/IJAgS/article/view/27974>.
- Scott Sanford. (2011). *Reducing greenhouse energy consumption*. Retrieved from https://fyi.extension.wisc.edu/energy/files/2018/07/reducing_greenhouse_energy_consumption_-_an_overview.pdf.
- Victoria, G.N., Kempkes, F.L.K., Van Weel, P., Stanghellini, C., Dueck, T.A. & Bruins, M. (2012). *Effect of a diffuse glass greenhouse cover on rose production and quality*. Retrieved from https://www.actahort.org/books/952/952_29.htm.
- Wageningen, U.R (2018) *Feasibility study of thin glasses for greenhouse roof designs* Retrieved from <https://edepot.wur.nl/432087>.
- World Energy Council. (2013). *World Energy Resources: 2013 Survey*.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล

ณรงค์เดช แยมบุญมี

อีเมล

narongdedth@gmail.com

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ศิลปะบัณฑิต สาขาจิตรกรรม สถาบันบัณฑิตพัฒนศิลป์
- ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม วิทยาลัยเทคนิคราชสีหราชราม

ประสบการณ์ทำงาน

- Kompass Design.
Managing Director

ผลงานวิชาการ

15th Built Environment Research Associates Conference, BERAC2024.
Synergy in Global Perspectives: Innovations Driving Sustainable Development across Borders.
Relationship between Translucent Materials and Temperature Control Efficiency in Greenhouse Cultivation.

BANGKOK
UNIVERSITY
THE CREATIVE UNIVERSITY